

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Я. О. СЕРІКОВ
О. М. ДІДЕНКО
В. Е. ЛІСЦИН**

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
ЛЮДИНИ, ЕРГОНОМІКИ, ОХОРОНИ ПРАЦІ
І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

МОНОГРАФІЯ

**Частина 2
ВІТРОЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ**

За редакцією Я. О. Серікова

**Харків
ХНУМГ
2014**

УДК 004:331.4:621.31.245

ББК 73+65.246+31.62

I-32

Авторський колектив:

Я. О. Серіков, к. т. н., доц. кафедри Безпеки життєдіяльності,
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова;

О. М. Діденко, аспірант, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова;

В. Е. Лісцин, н. с. НДЦ Академії внутрішніх військ МВС України

Рецензенти:

Б. В. Дзюндзюк, д. т. н., проф., завідувач кафедри «Охорона праці»
Харківського національного університету радіоелектроніки;

О. С. Полянський, д. т. н., проф. кафедри «Безпека життєдіяльності»
Харківського національного технічного університету сільського
господарства;

В. Д. Ходусов, д. ф.-м. н., проф. кафедри теоретичної фізики
Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна

Рекомендовано до друку

Вченою радою ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,
протокол № 4 від 2 грудня 2013 р.

Інформаційні технології у вирішенні завдань забезпечення
І-32 безпеки життєдіяльності людини, ергономіки, охорони праці і
навколишнього середовища: монографія: у 2-х ч. / за ред.
Я. О. Серікова; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2013. – .
ISBN 978-966-695-296-0

Ч. 2. Вітроелектричні станції / Я. О. Серіков, О. М. Діденко,
В. Е. Лісцин. – Х. : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – 183 с.
ISBN 978-966-695-298-4

Описаний аналіз опублікованих досліджень, наведені завдання й отримані
авторами результати в області забезпечення охорони праці персоналу,
навколишнього середовища й ергономіки на вітроелектричних станціях.

Рекомендована фахівцям і науковцям, які працюють у галузі
проектування вітроелектричних станцій, вирішення завдань забезпечення
охорони праці, ергономіки і безпеки життєдіяльності, а також викладачам,
аспірантам, студентам вищих навчальних закладів.

УДК 004:331.4:621.31.245

ББК 73+65.246+31.62

© Я. О. Серіков, О. М. Діденко,
В. Е. Лісцин, 2014

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014

ISBN 978-966-695-296-0

ISBN 978-966-695-298-4 (Ч. 2)

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕДМОВА	7
Розділ 1 АНАЛІЗ СТАНУ, РОЗВИТКУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ГОЛОВНИХ ВИДІВ НЕТРАДИЦІЙНИХ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	10
1.1 Енергія океану	12
1.1.1 Використання енергії припливів	12
1.1.2 Використання енергії хвиль	15
1.1.3 Використання температурного градієнта води	15
1.2 Сонячна енергія	16
1.2.1 Теплові перетворювачі сонячної енергії	17
1.2.2 Фотоелектричне перетворення сонячної енергії	17
1.3 Геотермальна енергія	19
1.3.1 Джерела геотермальної енергії	20
1.4 Гідроенергетика	21
1.5 Енергія біомаси	24
1.6 Енергія біогазу з відходів тваринництва	25
1.7 Енергія твердих побутових відходів	26
1.8 Енергія фітомаси	27
1.9 Вітроенергетика	27
1.10 Принципи використання установок НВДЕ в енергетичній системі	29
Висновки	31
Розділ 2 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ШУМУ В СИСТЕМІ «ЛЮДИНА – ВІТРОЕЛЕКТРИЧНА – УСТАНОВКА – СЕРЕДОВИЩЕ»	33
2.1 Аналіз розвитку вітроенергетики в Україні	33
2.2 Аналіз вітроелектричної станції як системи «Людина – Техніка – Середовище» за фактором шуму	34
2.2.1 Вплив шуму на людину в системі «Людина – Техніка – Середовище»	34
2.2.2 Класифікація джерел шуму в системі «Людина – Техніка – Середовище»	36

2.2.3 Класифікація вітроенергетичних установок, що функціонують у системі «Людина – Вітроенергетична установка – Середовище»	38
2.2.4 Негативні фактори в системі «Людина – Вітроенергетична установка – Середовище»	38
2.3 Методи оцінювання рівня шуму в системі ЛТС на території вітроелектростанції та прилеглих сельбищних зон	44
2.3.1 Визначення завдання	44
2.3.2 Методи оцінювання рівня шуму в системі ЛТС. Вимірювання рівня шуму на території вітроелектростанції та прилеглих сельбищних зон	45
2.4 Методи зниження рівня шуму як негативного фактора, в системах ЛТС	62
2.5 Негативні антропогенні фактори, що впливають на людину під час функціонуванні системи «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище»	66
2.5.1 Загальні положення. Стан виробничого травматизму в системі «Людина – Техніка – Середовище» в Україні	66
Висновки	70
Розділ 3 АНАЛІЗ НЕГАТИВНИХ ФАКТОРІВ У СИСТЕМІ «ЛЮДИНА–ВІТРОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ–СЕРЕДОВИЩЕ»...	71
3.1 Аналіз негативних факторів у системі «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище» на Донузлавській ділянці ВЕС	71
3.2 Аналіз негативних факторів у системі «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище» на Судакській ділянці ВЕС	78
Висновки	82
Розділ 4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ШУМОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМІ «ЛЮДИНА – ВЕУ – СЕРЕДОВИЩЕ»	83
4.1. Блок «Рівняння хвилі». Характеристики звуку та шуму..	84
4.2 Явища, що спостерігаються під час розповсюдження звукової хвилі	89

4.2.1 Інтерференція хвиль. Вплив інтерференції на формування рівня звукового тиску в системі ЛВЕСС	90
4.2.2 Явище відбиття хвилі. Вплив відбиття хвилі на формування рівня звукового тиску в системі ЛВЕСС	93
4.2.3 Дифракція хвиль. Вплив дифракції хвиль на формування рівня звукового тиску в системі ЛВЕСС	95
4.2.4 Заломлення хвилі. Вплив заломлення хвилі на формування рівня звукового тиску в системі ЛВЕСС	97
4.2.5 Сферична хвиля. Вплив параметрів сферичної хвилі на формування рівня звукового тиску в системі ЛВЕСС	98
4.2.6 Блок «Характеристики потоку повітря. Роза вітрів». Вплив параметрів потоку повітря на формування звукової хвилі в системі ЛВЕСС	99
4.2.7 Ефект «сліду» турбіни ВЕУ	103
4.2.8 Вітропотенціал України. Роза вітрів	104
4.3 Блок «Характеристики ВЕУ»	106
4.3.1 Структурна схема ВЕУ	107
4.3.2 Функціональна схема ВЕС	109
4.3.3 Конструктивна схема й головні елементи ВЕУ ...	109
4.3.4 Вітроенергетична установка як неспрямоване джерело випромінювання шуму	111
4.4 Блок «Логіка»	114
4.5 Аналіз впливу параметрів вітру на процес розповсюдження звукових хвиль, випромінюваних ВЕУ	120
4.6 Визначення рівня шуму з урахуванням метеорологічних умов та впливу поверхні землі	120
4.6.1 Розрахунок додаткового затухання звукової хвилі як наслідок дії ефектів, явищ, що спостерігаються під час її поширення	123
4.7 Визначення похибки математичної моделі процесу розповсюдження звукової хвилі від ВЕУ в системі «Людина – ВЕУ – Середовище»	126
Висновки	128

РОЗДІЛ 5 ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ І ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ І НОРМАЛІЗАЦІЇ ЕРГОНОМІЧНИХ УМОВ У СИСТЕМІ «ПРАЦІВНИК – ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА – СЕРЕДОВИЩЕ» ЗА ФАКТОРОМ ШУМУ	129
5.1 Визначення параметрів моделі «працівник – вітроенергетична установка – середовище» і об'єкти електронної карти ВЕС на основі реляційних таблиць системи управління базами даних ACCESS	134
5.2 Використання бібліотеки MapObjects для розроблення додатків геоінформаційних систем із метою візуалізації зон акустичного дискомфорту в системі «працівник – вітроенергетична установка – середовище» за фактором шуму	137
5.3 Використання інформаційних шарів карти, об'єктів бібліотеки MapObjects для підключення до векторних шарів і вилучення просторових даних	141
5.4 Вибір області навколишнього середовища для розміщення вітроенергетичної установки на підставі інформації, отриманої з шарів локальних факторів середовища	143
5.5 Побудова областей навколишнього середовища за допомогою математичного апарату R-функції для вибору місця розміщення вітроенергетичних установок з урахуванням на локальних факторів	146
5.6 Програмна реалізація розробленої математичної моделі розрахунків рівнів звукового тиску в системі «працівник – вітроенергетична установка – середовище»	148
Висновки	160
Список використаних джерел	161
Додатки	176

Передмова

Енергозабезпеченість суспільства та держави фактично є базою продуктивних сил, підґрунтям розвитку науково-технічного прогресу. Промисловість розвинених країн постійно нарощується, що потребує підвищення рівня енергозабезпеченості. Це є логічним, оскільки ці показники є головними факторами економічного зростання. На додаток до цього зазначимо, що ступінь енергозабезпеченості повинен бути надійним, розрахунком на віддалену перспективу.

Ці завдання диктуються принципами еволюції людства і є необхідною умовою розвитку техногенного суспільства. Активізація кризового стану біосфери Землі, зміна клімату доводять, що вирішення вказаних завдань неможливо досягти у наш час, ґрунтуючись лише на традиційних джерелах енергії (нафта, вугілля, газ). Досить важко і, крім того, є небезпечно - як із, взаємопов'язаних на сьогодні, геополітичних і економічних позицій, так і з позицій перспективи існування людства. Отже з цього, важливим завданням є не тільки зміна структури споживання традиційних (викопних) джерел енергії, але й широке впровадження нетрадиційних відновлювальних джерел енергії (НВДЕ). До головних таких джерел належать: сонячна, вітрова, геотермальна, енергія океану, біомаси.

Загалом на сьогодні використання НВДЕ в світі використовуються досить широко і характеризується стійкою тенденцією до зростання. В низці країн частка електроенергії від нетрадиційних джерел в загальному енергобалансі складає незначний відсоток. За прогнозними оцінками ця частка до 2015 року в багатьох державах досягне не менше 10 %.

Головними позитивними, відмінними від традиційних, характеристиками нетрадиційних джерел енергії є те, що вони не обмежені геологічно накопиченими запасами і негативний вплив їх (забруднення) на стан атмосфери, гідро- й літосфери Землі є значно нижчим.

Але аналізуючи типи НВДЕ на етапі їхнього впровадження, необхідно враховувати, що реалізація кожного з них формує свою систему «Людина – Техніка – Середовище» (ЛТС), яка характеризується конкретними взаємозв'язками, негативними факторами виробничого середовища. Ці фактори можуть негативно впливати як на рівень

ефективності функціонування системи ЛТС, так і на здоров'я обслуговуючого персоналу, навколишнє природне середовище.

У зв'язку з цим, під час аналізу ефективності, доцільності впровадження НВДЕ невідкладним завданням є детальна оцінка взаємозв'язків системи ЛТС, негативних факторів виробничого середовища, які супроводжують його функціонування, з метою своєчасного розроблення відповідних запобіжних заходів.

Важливо зазначити, що невід'ємною характеристикою процесу функціонування будь-якої антропогенної системи є деякий реальний рівень потенційної та реальної небезпеки щодо здоров'я працюючих, мешканців прилеглої території, стану навколишнього природного середовища, біосфери Землі. Це є об'єктивною реальністю, яку необхідно враховувати під час створення систем. До того ж запобіжні заходи щодо зменшення, нейтралізації негативного впливу антропогенних систем ЛТС будь-якого типу на ефективність її роботи, людину, навколишнє природне середовище можуть бути розроблені та впроваджені на таких етапах:

- під час роботи системи, як захід підвищення рівня ефективності, безпеки для обслуговуючого персоналу й навколишнього природного середовища;
- під час зниження продуктивності (ефективності) роботи системи, а також після випадків виробничого травматизму чи професійної захворюваності, як засіб їхнього подальшого попередження;
- розроблені на етапі проектування системи ЛТС.

Як показує логіка і практичний досвід, найбільш дієвим є третій напрям реалізації системи ЛТС – комплексний, який містить не тільки технічну реалізацію ідеї, а й вищевказані запобіжні заходи захисту. Одночасно цьому досягається необхідний рівень ефективності роботи системи, її безпечність як для обслуговуючого персоналу, так і для навколишнього природного середовища.

Очевидно, що запобіжні заходи, розроблені на етапі проектування системи ЛТС шляхом дослідження її роботи, функціональних взаємозв'язків, факторів виробничого середовища, можуть бути вдосконалені й доповнені.

Монографія присвячена дослідженню вітроенергетики як одного з реальних перспективних напрямків у реалізації НВДЕ. До того ж головна

цьому основна увага звернена на аналіз взаємозв'язків системи ЛТС, в якій технічною стороною є вітроенергетична (вітроелектрична) станція.

Метою досліджень є підвищення ефективності роботи системи ЛТС, забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу і навколишнього природного середовища.

Автори вважають своїм обов'язком висловити подяку рецензентам: *Б. В. Дзюндзюк*, д. т. н., проф., завідувачу кафедри «Охорона праці» Харківського національного університету радіоелектроніки; *О. С. Полянському*, д. т. н., проф. кафедри «Безпека життєдіяльності» Харківського національного технічного університету сільського господарства; *В. Д. Ходусову*, д. ф.-м. наук, проф. кафедри Теоретичної фізики Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна за рецензування монографії.

Від імені та за дорученням авторів – Я. Сєріков

Розділ 1 АНАЛІЗ СТАНУ, РОЗВИТКУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ГОЛОВНИХ ВИДІВ НЕТРАДИЦІЙНИХ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Різні види нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) знаходяться на різних стадіях розроблення й освоєння.

Вітроенергетика. Найшвидше розвивається вітроенергетика. Здебільшого це пояснюється тим, що питомі капіталовкладення під час впровадження вітроенергетичних установок (ВЕУ) нижчі, ніж під час використання більшості інших видів НВДЕ. Сумарна світова встановлена потужність ВЕУ й вітроенергетичних станцій (ВЕС) складає 15 – 20 гВт. Необхідно зазначити, що розвиток цього напрямку НВДЕ спрямований на збільшення як сумарної потужності ВЕУ і ВЕС, так і їхньої одиничної потужності. На сьогодні досягнута потужність вітроенергетичної установки більше 1 МВт. Світовими лідерами щодо використання енергії вітру є США, Німеччина, Нідерланди, Данія, Індія.

Гідроенергетика. Гідроенергетика – це галузь господарсько-економічної діяльності людини, сукупність великих природних і штучних підсистем, що використовуються для перетворення енергії водного потоку в електричну енергію.

На 2006 рік гідроенергетика забезпечує виробництво до 88% відновлюваної і до 20% всієї електроенергії у світі, а встановлена гідроенергетична потужність досягає 777 гВт.

Лідером з вироблення гідроенергії на душу населення є Ісландія. Окрім неї цей показник найбільш високий у Норвегії, в якій частка електроенергії, виробленої ГЕС, становить 98%. В Парагваї 100% вироблюваної енергії генерується на гідроелектростанціях.

З початку 2000 року найактивніший розвиток гідробудівництва спостерігається в Китаї, для якого гідроенергія є головним потенційним джерелом енергії. У цій країні розміщено близько половини малих гідроелектростанцій світу, а також найбільша у світі ГЕС – «Три ущелини», що побудована на річці Янцзи. Будується також найбільший за потужністю каскад ГЕС. Ще більш потужну ГЕС «Гранд Інга» (39 гВт) планується спорудження міжнародним консорціумом на річці Конго в Демократичній Республіці Конго.

На 2008 рік найбільшими виробниками гідроенергії, за абсолютними значеннями, є такі країни: Китай – 585 гВт·г., Канада – 369 гВт·год., Бразилія – 364 гВт·год., США – 251 гВт·год., Росія – 167 гВт·год., Норвегія – 140 гВт·год.

Геотермальна енергетика. Наступне місце в переліку НВДЕ, за обсягом використання, займає геотермальна енергетика. Сумарна світова потужність геотермальних теплоелектростанцій (ГеоТЕС) складає більше 6 гВт. ГеоТЕС цілком конкурентноздатні в порівнянні, у традиційними паливними електростанціями. Значним недоліком ГеоТЕС є те, що вони географічно прив'язані до парогідротермальних родовищ чи до термоаномалій, що значно обмежує обсяги їхнього використання.

Сонячна енергетика. Далі сонячна енергетика під час реалізації цього напрямку НВДЕ використовуються два методи перетворення сонячної енергії – фотоелектричний і термодинамічний.

Сумарна світова потужність автономних фотоелектричних установок становить більше 500 МВт. На сьогодні реалізований проект «Тисяча дахів» (Німеччина), згідно з яким 2250 будинків обладнані фотоелектричними установками (ФЕУ). До того ж, як резервне джерело живлення в системі використовується мережа міського електропостачання, з якої за необхідності відбирається недостача електроенергії. У разі надлишку виробленої енергії ФЕУ вона, у свою чергу, передається в мережу міського електропостачання. Варто зазначити, що під час реалізації цього проекту до 70% вартості установок оплачувалося з федерального і земельного бюджетів. У США прийнята до впровадження програма «Мільйон сонячних дахів». Планові витрати федерального бюджету на її реалізацію складають 6,3 млрд доларів.

Термодинамічний метод використовується здебільшого для виробництва низькопотенційного тепла для комунально-побутового гарячого водо- і теплопостачання. Переважаючим видом устаткування, що реалізує цей напрямок використання сонячної енергії, є сонячні колектори, здебільшого плоскі. Загальносвітове виробництво цього технологічного обладнання складає не менше 2 млн м² на рік, а генерування низькопотенційного тепла за рахунок сонячної енергії досягає 5·10⁶ гкал.

Енергія океану. Набагато менше використовується енергія океану. На сьогодні існує тільки одна велика електростанція, що використовує енергію припливів (ПЕС) потужністю 240 МВт (провінція Ранс, Франція).

Ще менше розвинене використання енергії морських хвиль, температурного градієнту тощо. Таким чином, фактично цей напрямок впровадження НВДЕ знаходиться на стадії початкового експериментування.

До НВДЕ відносяться також використання енергії біомаси, біогазу з відходів тваринництва, відходів рослинництва та ін.

Розглянемо більш докладно сутність кожного з наведених типів НВДЕ.

1.1 Енергія океану

Сукупно Світовий океан складає близько 72 % поверхні планети (361 млн км²). Акваторія Тихого океану – 180 млн км², Атлантичного – 93 млн км², Індійського – 75 млн км². В океані потенційно існують різні види енергії: енергія припливів і хвиль; температурного градієнту; хімічних зв'язків газів, солей і інших мінералів; енергія течій тощо. Всі ці види енергії практично можуть бути перетворені в стандартні види палива.

В 60-і роки були запущені перші припливні електростанції у Франції та СРСР, а в середині 80-х років уже діяли перші промислові установки, велися активні розробки у таких головних напрямках: використання енергії припливів, прибою, хвиль; різниці температур води поверхневих і глибинних шарів океану; течій і тощо.

1.1.1 Використання енергії припливів

Енергетичний потенціал припливних хвиль складає величину близько 3 млрд кВт. Припливна енергія постійна. Через це, кількість електроенергії що може бути вироблена на припливних електростанціях (ПЕС) (рис. 1.1), завжди може бути прогнозована, на відміну, від гідроелектростанцій (ГЕС), на яких кількість отриманої енергії залежить від режиму річки, пов'язаного не тільки з кліматичними особливостями території, якою вона протікає, але і з погодними умовами.

Проте дослідження показують, що технічно можливо й економічно вигідно використовувати лише частину припливного потенціалу Світового океану (за деякими оцінками близько 2%). Це пояснюється тим, що під час визначення технічних можливостей використання цього виду енергії

велике значення мають такі чинники, як характер берегової лінії, форма і рельєф дна, глибина води, наявність морських течій, вітер. Це обумовлено тим, що, як показує практика, для ефективної роботи ПЕС висота припливної хвилі повинна бути не менше 5 м. Такі умови формуються в невеликих і вузьких затоках або гирлах річок, що впадають у моря й океани. За різними оцінками відповідних досліджень Світовий океан має від 25 до 40 таких характерних місць.

Таким чином, для створення економічної припливної електростанції необхідне поєднання:

- надзвичайно великого перепаду рівнів води під час припливів і відпливів (6 м і більше);
- особливостей берегової лінії, що дають змогу створити дамбу й водяний басейн відповідних розмірів.

У проектах ПЕС звичайно передбачається створення двох басейнів – верхнього і нижнього – з водопропускними отворами і засувами. Верхній басейн наповнюється водою під час припливу, а потім спорожняється в нижній. Шляхом перетікання води з верхнього в нижній басейни і забезпечується генерування електричної енергії (за аналогією з принципом дії гідроелектростанції).



Рисунок 1.1 – Приливна електростанція

Під час оцінювання ефективності будівництва ПЕС з економічних позицій потрібно також враховувати й той факт, що найбільші амплітуди

хвиль припливів-відпливів характерні для морів, які розташовані в помірному поясі. Значна частина узбережжя таких морів знаходиться в необжитих місцях, на значному віддаленні від головних районів розселення людей, економічної діяльності, а отже і споживання електроенергії. Таким чином, під час проектування ПЕС супутнім завданням є передача електричної енергії на значну відстань, що потребує додаткових капіталовкладень.

Необхідно також враховувати й те, що рентабельність ПЕС значно зростає відповідно до збільшення їхньої потужності до 3 – 5, а ще більше – до 10 – 15 млн кВт.

Вважається, що найбільші запаси припливної енергії має Атлантичний океан. У його північно-західній частині, на межі США і Канади, знаходиться затока Фанді, яка становить собою внутрішню звужену частину затоки Мін. Довжина її становить 300 км за ширини 90 км, глибина біля входу більше 200 м. Ця затока знаменита найвищими у світі припливами, що сягають 18 м. Значні запаси припливної енергії у Тихому океані. У його північно-західній частині виокремлюється. Охотське море, де в Тугурській і Пенжинській затоках висота приливної хвилі складає 9 – 13 м. У межах Північного Льодовитого океану за запасами припливної енергії виокремлюється Біле море, в Мезенській губі якого припливи сягають до 10 м.

Незважаючи на досить сприятливі природні умови, будівництво ПЕС поки що має обмежені масштаби. Можна назвати лише промислову ПЕС «Ранс» у Франції, дослідницьку Кислогубську ПЕС на Кольському півострові (Росія) і канадсько-американську ПЕС у затоці Фанді.

Існує незначна кількість місць, де виконуються такі умови, а саме: узбережжя штату Мен (США) і провінції Нью-Брансуїк (Канада), деякі затоки Жовтого моря, Персидська затока, Аляска, деякі місця в Аргентині, південь Англії, північ Франції, північ Європейської Росії і низка заток в Австралії. Але навіть у таких місцях, що повністю відповідають вихідним умовам, (затока Пассамакуодді на межі штату Мен і провінції Нью-Брансуїк) ПЕС на сьогодні за вартістю електроенергії, що виробляється, не може конкурувати з сучасними ТЕС.

Під час спорудження ПЕС необхідно оцінювати і їхні негативний вплив на оточуюче середовище, який є достатньо значним. Це обумовлено тим, що в районах, де споруджені потужні ПЕС, істотно змінюється висота

припливів, порушується водяний баланс в акваторії станції, що може позначитися на рибному господарстві, розведенні устриць, мідій тощо.

1.1.2 Використання енергії хвиль

Енергія вітрових хвиль сумарно оцінюється в 2,7 млрд кВт на рік. Дослідження показали, що її слід використовувати не біля берега, куди хвилі приходять ослабленими, а у відкритому морі або в прибережній зоні шельфу. У деяких шельфових акваторіях хвильова енергія досягає значної концентрації: в США і Японії – близько 40 кВт на 1 метр хвильового фронту, а на західному узбережжі Великобританії – 80 кВт на 1 метр. Використання цієї енергії, хоча і локально (в місцевих масштабах), розпочато у Великобританії та Японії.

За оцінками вчених, внаслідок використання енергії морських хвиль у англійських територіальних водах можна було б отримати потужність до 120 ГВт, що вдвічі перевищує потужність усіх електростанцій, які належать Британському центральному електроенергетичному управлінню.

1.1.3 Використання температурного градієнта води

Перші наукові розробки цього напрямку почалися в 1973 році. Енергію різниці температур різних шарів води Світового океану оцінюють у 20 – 40 трлн кВт, з яких практично можуть бути використані 4 трлн кВт.

Так, теплова енергія, що відповідає перегріву поверхневих вод океану порівняно з донними, наприклад, на 20 °С, має величину близько 1 026 Дж.

Принцип дії цих станцій полягає в наступному. Теплу морську воду (24 – 32 °С) спрямовують у теплообмінник, у якому рідкий аміак або фреон перетворюються на пару, що обертає турбіну. Далі пара надходить у наступний теплообмінник для охолодження і конденсації водою з температурою 5 – 6 °С. Цю воду подають з глибини 200 – 500 м. Отримувала електроенергію передають, наприклад, на берег по підводному кабелю або використовують для забезпечення енергією під час видобутку мінеральної сировини з дна чи його виділення з морської води.

Перевагою таких установок є можливість їхнього транспортування в будь-яку частину Світового океану. На доповнення до цього, різниця температур різних шарів океанічної води – більш стабільне джерело енергії, ніж, скажімо, вітер, Сонце, морські хвилі або прибії. Перша така установка була запущена в 1981 році на острові Науру. Недоліком таких станцій є те, що вони ефективно працюють у тропічних широтах. Для практичного використання температурного градієнта найбільш придатні ті райони Світового океану, що розташовані між 20° північної широти і 29° південної широти, де температура води біля поверхні океану досягає $27 - 28^{\circ}\text{C}$, а на глибині 1 км – $4 - 5^{\circ}\text{C}$.

1.2 Сонячна енергія

Сумарно за три дні Сонце посилає на Землю стільки енергії, скільки її міститься у всіх розвіданих запасах викопних палив. За одну секунду випромінювання сонячної енергії складає 170 млрд. Дж. Значну частину цієї енергії розсіює або поглинає атмосфера, особливо хмари, і лише третина її досягає земної поверхні. Вся енергія, що випромінюється Сонцем, більша за ту її частину, яку отримує Земля, в 5 млрд разів. Але навіть така величина в 1 600 разів більша за енергію, яку дає решта всіх джерел разом узятих. Використання лише 0,0125 % енергії Сонця могло б забезпечити потреби світової енергетики. Таким чином, сонячна енергія є найбільш потужним, дешевим, але й найменше використовуваним джерелом енергії.

Проблеми використання сонячної енергії в широких масштабах різнопланові. Однією з головних є низька густина сонячної енергії, що спричиняє необхідність задіювати велику площу для встановлення відповідних первинних перетворювачів енергії, колекторів. Так, дослідження показують, що у високих широтах густина сонячної енергії складає $80 - 130 \text{ Вт/м}^2$, у помірному поясі – $130 - 210$, а в пустелях тропічного поясу $210 - 250 \text{ Вт/м}^2$. Це ж доводить, що найсприятливіші умови для використання сонячної енергії спостерігаються в країнах Африки, Південної Америки, в Японії, Ізраїлі, Австралії, в окремих районах США (Флорида, Каліфорнія). У країнах СНД в районах, сприятливих для цього, проживає приблизно 130 млн осіб, у тому числі 60 млн у сільській місцевості. Це говорить про актуальність вирішення

завдання використання сонячної енергії і для локальних споживачів енергії.

1.2.1 Теплові перетворювачі сонячної енергії

Останнім часом досить поширеним став метод перетворення сонячної радіації за допомогою геліоустановок в теплову або електричну енергію. Варто зазначити, що навіть за найкращих атмосферних умов (південні широти, чисте небо) густина потоку сонячного випромінювання складає не більше 250 Вт/м^2 . Тому для того, щоб колектори сонячного випромінювання акумулювали за рік енергію, необхідну для задоволення потреб людства, їх потрібно розмістити на території $130\,000 \text{ км}^2$. Необхідність використання колекторів значних розмірів, окрім того, спричиняє значні матеріальні витрати. Найпростіший колектор сонячного випромінювання є зачорненим металевим (зазвичай алюмінієвим) листом, усередині якого розташовуються труби з циркулюючою в ній рідиною. Нагріта сонячною енергією, поглинутою колектором, рідина надходить для безпосереднього використання. Згідно з розрахунками виготовлення колекторів сонячного випромінювання площею 1 км^2 вимагає приблизно $10\,000 \text{ т}$ алюмінію.

Таким чином, сонячна енергетика (напрямок теплового перетворення сонячної енергії) належить до найматеріаломісткіших видів виробництва енергії. Великомасштабне використання сонячної енергії спричиняє збільшення потреби в матеріалах, а отже, і в трудових ресурсах для видобутку сировини, її збагачення, отримання матеріалів, виготовлення геліостатів, колекторів, іншої апаратури, їхнього перевезення. На даний час електрична енергія, що генерується сонячною енергетикою, за собівартістю є значно дорожчою за отримувану традиційними способами.

1.2.2 Фотоелектричне перетворення сонячної енергії

У фотоелектричних установках здійснюється безпосереднє перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію. Досягається це шляхом реалізації фотоелектричного ефекту фізичного явища, що полягає у виникненні ЕДС в напівпровідниковому матеріалі у разі потрапляння на нього електромагнітного випромінювання – світлового

(видимого) й інфрачервоного – у сфері, найближчій до видимого діапазону спектру випромінювання сонця. Пристрої, в яких відбувається фотоефекту, називаються фотоелектричними перетворювачами (ФЕП) (рис. 1.2).

Конструктивно ФЕП виготовляється у вигляді тонкоплівочних напівпровідникових елементів (товщина шару напівпровідника 50 мкм) і складається з двох пластинок: кремнію n-типу й кремнію р-типу, які закриті з опромінюваної сторони плівкою діоксиду кремнію. З протилежної сторони до напівпровідникових пластин приєднані електроди.

Елементи ФЕП з'єднуються в стандартні модулі, з яких зручно монтувати сонячні батареї будь-якої потужності й конфігурації.

Сонячні батареї відрізняються високою надійністю та стабільністю, вони не мають рухомих деталей, термін їх служби практично не обмежений. Їхня маса мала, вони прості в обслуговуванні.

Сукупність таких переваг робить ФЕП привабливими для їх використання в енергетиці.



Рисунок 1.2 – Модулі фотоелектричних перетворювачів

Сонячно-космічні електростанції для енергопостачання. Перспективним напрямком використання сонячної енергії є сонячно-космічні електростанції для енергопостачання Землі. Ці станції, розташовані в космосі, на відміну від земних, зможуть отримувати більш щільний потік теплового сонячного випромінювання, вони також не залежать від погодних умов і добового циклу.

Карта потенціалу сонячної активності в Україні наведена на рисунку 1.3.

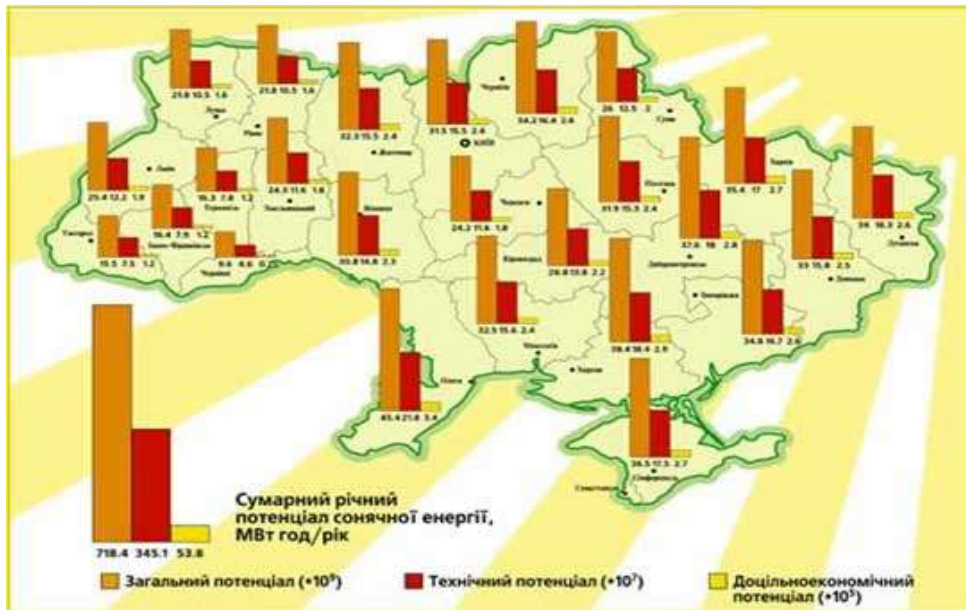


Рисунок 1.3 – Карта потенціалу сонячної активності України

В південних районах нашої країни створені десятки сонячних установок і систем. Вони здійснюють гаряче водопостачання, опалювання й кондиціонування повітря житлових і громадських будівель, тваринницьких ферм і теплиць, сушіння сільськогосподарської продукції, термооброблення будівельних конструкцій, підйом і опріснення мінералізованої води тощо.

З 1988 р. на Керченському півострові працює Кримська сонячна електростанція. Її потужність 5 МВт. Працюючи 2000 годин на рік, станція виробляє 6 млн. кВт електроенергії.

1.3 Геотермальна енергія

Геотермальна енергетика (енергетика Землі) базується на використанні природної теплоти Землі. Надра Землі містять в собі колосальне, практично невичерпне джерело енергії.

Щорічне випромінювання внутрішнього тепла планети складає $2,8 \cdot 10^{14}$ млрд кВт год. Воно постійне й компенсується радіоактивним розпадом ряду ізотопів у земній корі.

1.3.1 Джерела геотермальної енергії

Джерела геотермальної енергії поділяються на два типи.

Перший – це підземні басейни природних теплоносіїв: гарячої води – гідротермальні джерела; пари – паротермальні джерела; пароводяної суміші (рис. 1.4). По суті, це безпосередньо готові до використання джерела геотермальної енергії, з яких воду або пару можна добути за допомогою бурових свердловин.



Рисунок 1.4 – Парогідротермальні джерела

Другий тип – це тепло гірських порід. Під час закачування води в горизонти літосфери, що характеризуються високою температурою, є можливість одержання пари (перегрітої води) для подальшого використання в енергетичних цілях.

Геотермальну енергію використовують для вироблення електроенергії, обігріву житла, теплиць тощо. Як теплоносіїв використовують суху пару, перегріту воду або інший теплоносіїв з низькою температурою кипіння (аміак, фреон і т. п.).

Головний недолік у використанні цього виду енергії полягає в низькій концентрації геотермальної енергії. Але в місцях утворення своєрідних геотермічних аномалій, де гарячі джерела або породи підходять порівняно близько до поверхні і при зануренні вглиб на кожні 100 м температура підвищується на 30 – 40 °С, концентрація геотермальної енергії може забезпечувати умови, достатні для господарського використання.

Залежно від температури води, пари або пароводяної суміші геотермальні джерела поділяються на дві категорії:

- низько- і середньотемпературні (з температурою до 130 – 150 °С);
- високотемпературні (вище 150 °С).

Температура геотермального джерела визначає характер його використання.

Геотермальна енергія має такі чотири позитивні риси.

1. Запаси геотермальної енергії практично невичерпні. За оцінками фахівців, до глибини 10 км вони складають таку величину, яка в 3,5 тис разів перевищує запаси традиційних видів мінерального палива.

2. Джерела геотермальної енергії досить розповсюджені. Концентрація її пов'язана здебільшого з поясами активної сейсмічної і вулканічної діяльності, які займають 1/10 площі Землі. У межах цих поясів виокремлюються найперспективніші «геотермальні райони», прикладами яких є Каліфорнія в США, Нова Зеландія, Японія, Ісландія, Камчатка, Північний Кавказ у Росії. Тільки в колишньому СРСР до початку 90-х років було відкрито близько 50 підземних басейнів гарячої води й пари.

3. Використання геотермальної енергії не вимагає великих витрат, оскільки в цьому випадку мова йде про джерела енергії, створені самою природою.

4. Геотермальна енергія, з екологічного боку абсолютно нешкідлива і не забруднює оточуюче природне середовище.

Комерційне використання геотермальної енергії почалося в 20-х роках XX століття з будівництва перших ГЕОТЕС в Італії, а потім і в інших країнах. До початку 80-х років XX століття у світі діяло близько 20 таких станцій загальною потужністю 1,5 млн кВт. Найпотужніша з них – станція Гейзерс у США (500 тис кВт).

1.4 Гідроенергетика

Більшість гідроенергетичних ресурсів планети є однією з форм сонячної енергії, і тому гідроенергетика належить до відновлюваних природних енергоресурсів.

З кругообігом води в природі пов'язана колосальна кількість енергії. Географічна область помірного клімату висотою близько 2 500 м над рівнем моря і кількістю опадів – 1 000 мм/рік теоретично могла б

безперервно давати більше 750 кВт енергії з кожного км² площі. Але фактично можна використовувати лише частку всієї кількості опадів і невелику частину висоти, з якої вони стікають. Крім того, в більшості випадків ККД сучасних гідротурбін і генераторів не перевищує 86 %.

Проте, незважаючи на викладене вище, гідроенергетиці відводиться велике місце у списку відновлюваних джерел енергії. Так, продуктивність гідроелектростанцій (ГЕС) у США становить близько 75 000 МВт і принаймні ще 50 000 МВт планується отримати додатково.

Рівень розвитку гідроенергетики в різних країнах і на різних континентах неоднаковий. Найбільше гідроелектроенергії генерують у США. Трохи менше у Росії, Україні, Канаді, Японії, Бразилії, КНР і Норвегії.

Воду, що обертає гідравлічні турбіни, зазвичай, беруть зі штучних водосховищ, створених шляхом перекриття річки дамбою (рис. 1.5). Дамба підвищує тиск води, що надходить на турбіни, отже збільшується потужність електростанції. Витрати води з водосховища турбін можна регулювати за допомогою. Водосховище, зокрема є відстійником для піску, мулу і сміття, що приносить природні водотоки.



Рисунок 1.5 – Водосховище і дамба гідроелектростанції

На додаток до вирішення головного завдання – вироблення електроенергії, дамба з водосховищем дають змогу запобігти паводковим затопленням, а також створюють надійний запас води для водопостачання населення і промисловості.

Гідравлічна турбіна перетворює енергію води в механічну енергію обертання валу гідравлічної турбіни. Існують різні конструкції гідротурбін у відповідності до швидкості течії і тиску води, але всі вони, на відміну від парових і газових, мають два лопатеві вінці. До лопатей першого вінця належать профільовані колони статора і лопатки спрямовуючого апарату, до того ж останні звичайно дають змогу регулювати витрату води через турбіну. Другий вінець утворює лопаті робочого колеса турбіни. Два послідовні лопатеві вінці (статора і колеса) становлять ступінь турбіни. Таким чином, гідротурбіни є одноступеневими.

Вісь обертання турбіни, розрахованої на велику витрату і малий тиск води, зазвичай розташовують горизонтально. Такі турбіни називають осьовими або пропелерними. У гідроагрегатах приливної ГЕС, побудованої в затоці Фанді (провінція Нова Шотландія, Канада), ротор генератора закріплений на периферії робочого колеса і охоплює його. Така конструкція генератора є менш металозатратною. Але частіше турбіну розташовують вертикально і виводять її вал з похилого S-подібного водяного каналу через ущільнення до зовнішнього гідрогенератора.

В усіх потужних осьових турбінах у механізмі лопаті робочого колеса передбачена можливість їх повороту відповідно до зміни тиску води, що особливо цінується у випадку приливних ГЕС, що завжди працюють в умовах змінного тиску. Розрахунковий діапазон тиску для горизонтальних осьових турбін складає 3 – 15 м. Вертикальні осьові турбіни використовуються у разі тисках від 5 до 30 м.

За підвищеного тиску (від 12 до 300 м) перевага надається радіально-осьовим турбінам, у яких вода входить по радіусу, а виходить в осьовому напрямку. Радіально-осьові турбіни відрізняються лопатками великого діаметра, жорстко закріпленими на робочому колесі, але спрямовуючий апарат у них такого ж типу, як і в поворотно-лопатевих турбінах.

Конструкція турбін для тиску води, що перевищує 300 м відрізняється від описаних вище. В таких турбінах передбачено від одного до шести сопел кругового перетину, що створюють водяні струмені, які падають на лопаті робочого колеса. Витрата води регулюється перекриттям прохідного перетину сопел. Робоче колесо працює не під водою, як в осьовій і радіально-осьовій турбінах, а в повітрі. Високошвидкісний вільний водяний струмінь б'є в лопаті робочого колеса, яке має форму подвійного ковша. Конструкція ковшової гідротурбіни була

запропонована в 1878 і запатентована в 1880 роках американським інженером А. Пелтоном.

Ковшова гідротурбіна називається активною, оскільки в соплах тиск падає до нуля і сила, діюча на лопаті, створюється ударом струменя.

Осьова і радіально-осьова турбіни належать до реактивних, оскільки потік води збільшує свою швидкість у проходах між лопатями робочого колеса.

Аналіз перспективи розвитку гідроенергетики говорить про таке. Неосвоєні гідроенергетичні ресурси Африки, Азії й Південної Америки відкривають великі можливості для будівництва нових ГЕС. На Північну Америку, у розпорядженні якої знаходиться всього близько 13 % світових ресурсів гідроенергетики, припадає близько 35 % повної потужності діючих ГЕС. У той же час Африка (21 % світових гідроенергетичних ресурсів) і Азія (39 %) вносять відповідно лише 5 і 18 % у світовий виробіток гідроелектроенергії. Серед решти континентів Європа (21 % ресурсів) дає 31 % виробітку, а Південна Америка і Австралія, разом узяті, маючи приблизно 15 % ресурсів, дають лише 11 % вироблюваної у світі гідроелектроенергії.

Останнім часом відроджується напрямок зі створення і використання малих ГЕС. Вони розроблюються на новій, сучасній високотехнологічній і технічній основі, пов'язаній, зокрема, з повною автоматизацією роботи за дистанційного керування.

1.5 Енергія біомаси

Поняття «біомаса» належить до речовин рослинного або тваринного походження, а також відходів, отримуваних внаслідок їхньої переробки. З енергетичного метою енергію біомаси використовують за такими двома напрямками:

1. Шляхом безпосереднього спалювання.
2. Шляхом перероблення в паливо (спирт або біогаз).

Використання біомаси за іншим напрямком здійснюється за допомогою двома головними методами отримання палива з біомаси:

- за допомогою термохімічних процесів;
- шляхом біотехнологічної переробки.

Досвід показує, що найбільш перспективною є біотехнологічна переробка органічної речовини. У середині 80-х років у різних країнах діяли промислові установки щодо виробництва палива з біомаси. Найбільш розповсюдженим було виробництво спирту.

Одним з найперспективніших напрямів енергетичного використання біомаси є виробництво біогазу. Склад біогазу – 50 – 80 % метану, 20 – 50 % вуглекислота), теплотвірна здатність – 5 – 6 тис ккал/м³.

Найбільш ефективним є вироблення біогазу із гною. З однієї тонни можна отримати 10 – 12 м³ метану.

Наступним за ефективністю є перероблення соломи злакових культур. 100 млн тонн такого відходу рільництва дає близько 20 млрд. м³ метану. З такою ж метою можна утилізувати стебла бавовнику, бадилля культурних рослин, трав тощо.

Біогаз можна конвертувати в теплову й електричну енергію, використовувати у двигунах внутрішнього згорання, для отримання синтез газу та штучного бензину.

Таким чином, виробництво біогазу з органічних відходів дає можливість вирішувати одночасно три завдання: енергетичне, агрохімічне (отримання добрив типу нітрофоски) і екологічне.

Установки з виробництва біогазу розміщують зазвичай, у районах розташування достатньо великих міст, центрів переробки сільськогосподарської сировини.

1.6 Енергія біогазу з відходів тваринництва

Результати випробувань установок для виробництва біогазу з відходів тваринницьких комплексів підтвердили вимогу комплексної оцінки їхньої ефективності, оскільки їхнє використання тільки для отримання біогазу економічно неконкурентоздатне щодо інших видів палива.

Головна складова ефекту полягає в тому, що без додаткових енергетичних витрат можна отримати екологічно чисте високоякісне органічне добриво і внаслідок цього пропорційно скоротити енергоємне виробництво мінеральних добрив.

Використання біогазових установок уможливорює істотне поліпшення екологічних умов поблизу великих ферм і тваринницьких комплексів, а

також на посівних площах, на які в цей час скидаються відходи тваринництва.

Потенційно можливе отримання товарного біогазу від тваринницьких комплексів складає 160 тис. т умовного палива (у. п.) на рік, а до 2005 року – не більше 15 тис. т у. п.

1.7 Енергія твердих побутових відходів

Вміст органічної речовини в твердих побутових відходах (ТБВ) складає 40 – 75 %. До того ж спалювання компоненти в твердих побутових відходах становлять 50 – 88 %, вуглець – 35 – 40 %, їхня зольність – 40 – 70 %, а теплотворна здатність ТБВ – 800 – 2000 кКал/кг.

У світовій практиці отримання енергії з ТБВ здійснюється за допомогою таких способів: спалювання (рис. 1.6), активної і пасивної газифікації.



Рисунок 1.6 – Завод з переробки ТБВ методом спалювання

Найбільш перспективним напрямком є газифікація, оскільки у разі прямого спалювання ТБВ виникають екологічні проблеми, для вирішення яких необхідні значні інвестиції. Виходячи з практики і відповідних розрахунків можна зробити висновок, що розмір таких інвестицій у два рази перевищує вартість спалювальних установок.

Ефективність цього напрямку використання ТБВ потрібно оцінювати не тільки за виходом біогазу, але й за екологічною складовою, яка в цій

проблемі буде головною. Конкретні показники ефективності можуть бути отримані на підставі детальних проектних опрацювань, створення й експлуатації дослідницького науково-промислового полігону.

1.8 Енергія фітомаси

Як сировину для отримання рідкого й газоподібного палива можна використовувати періодично відновлюване джерело енергії – фітомасу швидкозростаючих рослин і дерев.

Для отримання такої сировини найбільш доцільно використовувати площі вироблених торф'яних родовищ, на яких відсутні умови для вирощування сільськогосподарських культур.

Варто вказати, що відсутність досвіду широкого використання фітомаси з енергетичною метою не дає змоги дати коректну оцінку витрат і цін на вироблюване паливо. Для реалізації цього напрямку НВДЕ необхідне розроблення спеціальної техніки, створення дорожньої інфраструктури, переробляючих підприємств тощо.

За збільшеними розрахунками ціна палива з фітомаси буде складати близько 35 \$/т. у. п.

1.9 Вітроенергетика

Роботу вітроенергетичних установок (ВЕУ) забезпечує кінетична енергія руху повітряних мас. Потужність кінетичної енергії повітряного потоку залежить від його кінематичних характеристик: швидкості і напрямку руху, тривалості вітряної і штильової погоди, характеру зміни швидкості вітру за часом, площі поперечного перетину струменя повітря.

Головним способом перетворення енергії вітру в електричну є застосування традиційних лопатевих вітроенергетичних установок.

На сьогодні розроблені ВЕУ нового типу, засновані на ефекті Магнуса, в яких як аеродинамічні елементи використовуються не лопаті, а усічені конуси спеціальної форми (ротори). Підйомна сила таких роторів у 6 – 8 разів перевершує підйомну силу лопатей.

Конструктивно вітроенергетична установка містить вітроенергетичний агрегат і ряд додаткових пристроїв, необхідних для безперебійної роботи технологічних машин у період безвітряної погоди й

забезпечення високого КПД експлуатації вітрогенератора за будь-якого напрямку й силі вітру.

В 1989 році вітровий енергетичний потенціал Землі був оцінений у 300 млрд кВт·год в рік. Але для технічного освоєння з цієї кількості придатним є тільки 1,5 %. Головною причиною цього є непостійність вітрової енергії. Непостійність вітру вимагає спорудження акумуляторів енергії, що значно здорожує собівартість електроенергії, отримуваної з вітроелектростанцій (ВЕС) (рис. 1.7).

Через розсіяність (ненаправленість) вітрової хвилі під час спорудження рівних за потужністю сонячних і вітрових електростанцій для останніх потрібно в п'ять разів більшу площу.



Рисунок 1.7 – Вітроенергетична станція

Необхідність освоєння виробництва вітроенергетичних установок (ВЕУ) привело до появи значної кількості таких агрегатів. Вони відрізняються потужністю, конструкцією тощо. Вітроенергетичні станції з потужними ВЕУ споруджують зазвичай у районах з постійними вітрами (на морському узбережжі, у мілководних прибережних зонах тощо). Використання таких ВЕС поширено в Росії, США, Канаді, Франції, Німеччині й інших країнах. Фахівці вважають, що потужні вітроенергетичні установки, згруповані у вітроенергетичні станції, з часом могли б утворити свою електричну мережу. Вітроенергетичні установки малої потужності призначені для забезпечення електроенергією окремих об'єктів.

Головним недоліком ВЕУ, незалежно від потужності, є залежність ефективності роботи від погодних умов. У зв'язку з цим прогнозування

графіка видобутку енергії є утрудненим. Технічним рішенням, яке дає змогу зменшити рівень впливу цього недоліку, є внесення до складу ВЕУ акумулятора енергії.

До важливих недоліків вітроенергетики належать також такі:

- необхідність виділення значних (на одиницю видобутої енергії) площ, займаних ВЕС;
- високий рівень шуму, створюваного лопатями ВЕУ. Цей негативний виробничий фактор шкідливо впливає на ефективність роботи системи Л-Т-С, умови праці персоналу ВЕС і навколишнє природне середовище.

1.10 Принципи використання установок НВДЕ в енергетичній системі

Принципи використання установок НВДЕ в енергетичній системі продемонструємо на прикладі гідроелектростанції. Аналогічний підхід використовується і в інших джерелах: яку НВДЕ, так і в традиційних.

Зазвичай, джерела електричної енергії (як традиційні, так і джерела НВДЕ) працюють не завжди з повною потужністю. Це пояснюється різними причинами як технічного, так і економічного характеру. Щодо роботи гідроелектричних станцій, це може бути спричинено такими чинниками:

1. Недостатня кількість або тиск води (кількість або потужність енергетичного первинного носія).
2. Відсутність навантаження.

Як приклад наведено ГЕС, що використовує накопичувальне водосховище, в якому вода акумулюється в години зменшених навантажень.

ГЕС такого типу на водотоці, який придатний для виробітку 10 МВт електричної енергії, може обслуговувати навантаження в 15 – 20 МВт, якщо коефіцієнт навантаження знаходиться в межах від 0,50 до 0,67. Це стосується окремої ГЕС, що самостійно обслуговує своє навантаження. Якщо ж така ГЕС залучена до енергетичної системи, до якої належать і інші електростанції, то вона може бути переведена в режим з піковою потужністю, що перевищує 20 МВт, але за умови меншого коефіцієнта навантаження.

До енергетичних систем за звичай належать не тільки ГЕС. Наприклад, якщо в систему входять і теплові електростанції (ТЕС), то ГЕС може працювати за своїм графіком навантаження, відмінним від загального.

Принцип використання будь-якого джерела енергії в енергетичній системі – традиційного, НВДЕ – полягає в забезпеченні ефективності роботи всієї системи.

Для реалізації цього принципу ГЕС може використовуватись у таких двох режимах:

1. Працювати з максимально можливою потужністю (за наявного запасу води) з метою економії палива на традиційних джерелах електричної енергії.

2. Працювати тільки в години пікового навантаження системи, щоб понизити необхідну потужність ТЕС і внаслідок цього зменшити необхідні інвестиції на її реконструкцію і експлуатацію (за умови, що промисловість регіону, який обслуговує енергосистема, потребує додаткової потужності).

В технологічний цикл роботи ГЕС входить процес акумуляції первинного джерела енергії. Так, у години малих навантажень гідроагрегати ГЕС перекачують воду з нижнього водоймища у верхнє, а в години підвищених – використовують запаси води для вироблення пікової енергії.

На акумуляцію первинного джерела енергії – перекачування води у верхнє водоймище з нижнього витрачається іноді у півтора рази більше електроенергії, ніж потім з неї виробляється. Але це виправдано з позиції економіки енергетичної системи загалом. Річ у тім, що енергію, витрачану на перекачування, виробляють ТЕС енергетичної системи в години зменшеного навантаження, коли вартість електроенергії знижена. Таким чином, дешева «нічна» електроенергія перетворюється на більш дорогу в «піковий» час, що підвищує економічну ефективність енергетичної системи в загалом.

Висновки

В розділі наведений стислий аналіз стану розвитку альтернативних, нетрадиційних відновлювальних джерел енергії. Зазначено їхні позитивні й негативні особливості.

Для підтримання належного рівня й подальшого розвитку цивілізації енергія беззаперечно відіграє визначальну роль, оскільки в сучасному суспільстві практично неможливо знайти хоча б одну сферу діяльності людини, яка б не вимагала, прямо або опосередковано, затрат енергії. На додаток потрібно також зазначити, що на сьогодні одним з головних показників життєвого рівня суспільства є рівень споживання енергії.

На початку ХХІ століття активізувався новий етап розвитку енергетики. Він полягає в розроблений заощаджувальних технологій, ефективних з позицій використання споживачів електричної енергії, впровадження альтернативних, нетрадиційних відновлюваних джерел енергії. Широкому впровадженню альтернативних джерел енергії, однак перешкоджають значні економічні, екологічні й соціальні проблеми. До головних з них належать такі:

1. Високі капітальні вкладення, спричинені необхідністю створення нової техніки й технологій.
2. Висока матеріаломісткість (створення могутніх ПЕС вимагає величезної кількості металу, бетону тощо).
3. Для будівництва низки станцій НВДЕ необхідно відчуження значних площ землі або морської акваторії.
4. Необхідність підготовки відповідних фахівців з створення, розвитку й використання альтернативних джерел енергії.
5. Необхідність проведення доскональних наукових досліджень рівня негативного впливу кожного типу НВДЕ на систему Л-Т-С, працюючих, населення, навколишнє природне середовище, біосферу Землі.

Вирішення цих проблем вимагає комплексного підходу на національному і міжнародному рівні, що дасть змогу прискорити реалізацію НВДЕ.

Огляд відповідних публікацій показує, що на сьогодні різні види НВДЕ знаходяться на різних стадіях освоєння. До того ж, найбільше поширена вітроенергетика. Це пояснюється тим, що питомі капіталовкладення у ВЕУ нижчі, ніж під час використання більшості інших видів НВДЕ. Сумарна світова встановлена потужність ВЕУ і ВЕС, за різними оцінками, складає від 10 до 20 ГВт. До того ж збільшується не тільки сумарна потужність вітроенергетичних установок, але і їхня одинична потужність, що перевищила 1 МВт.

Відповідно до цього, логічним напрямком є дослідження негативного впливу вітроенергетичних установок, вітроенергетичних станцій, як елементу системи «ЛЮДИНА – ТЕХНІКА – СЕРЕДОВИЩЕ», на умови праці персоналу, навколишнє природне середовище.

Кінцевою метою таких досліджень є підвищення ефективності функціонування системи ЛТС, забезпечення збереження динамічної рівноваги в глобальній системі «Людина – Біосфера».

Розділ 2 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ШУМУ В СИСТЕМІ «ЛЮДИНА – ВІТРОЕЛЕКТРИЧНА УСТАНОВКА – СЕРЕДОВИЩЕ»

2.1 Аналіз розвитку вітроенергетики в Україні

У порівнянні з 2 000 роком, сумарна потужність вітроелектростанцій (ВЕС) в Європі у 2001 році зросла на 4 500 МВт, а сумарна потужність цього виду енергетики оцінюється у 24 000 МВт.

За опублікованими даними, Україна є лідером серед держав колишнього СРСР щодо розвитку цього напрямку енергетики [1]. Щодо розвитку вітроенергетики на сьогодні потужність ВЕС у нашій державі становить близько 40 МВт. Існуючі ВЕС виробляють приблизно четверту частину сукупного споживання електричної енергії в Криму. Вітроустановки виробляють 24 заводи, здебільшого ті, що в минулому належали до воєнно-промислового комплексу.

Внаслідок цього такого становища на сьогодні Україна займає 13 місце в Європі щодо використання ВЕС.

15 червня 1994 року Кабінет Міністрів України затвердив постанову № 415 «Про будівництво вітрових електростанцій в Україні» [2]. 2 березня 1996 року був підписаний Указ Президента України № 159/96 з такою ж назвою [3]. Цим наказом був затверджений спеціальний фонд будівництва ВЕС шляхом підвищення тарифу на електроенергію у розмірі 0,75 % від об'єму товарної продукції виробництва електроенергії. Розвитку вітроенергетики в Україні сприяє також Закон України «Про електроенергетику» [4, 5].

Таким чином, розвитку НВДЕ в нашій державі приділяється велика увага. Про це також свідчить наявність «Програми державної підтримки розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, а також малої гідро- і теплоенергетики», що була затверджена Постановою Кабінету Міністрів № 1505 від 31.12.97 р. [6]. На підставі цієї програми розвиток вітроенергетики в Україні підтримується програмою «Комплексна програма будівництва ВЕС», яка закріплена законодавчими та нормативними актами.

Відповідно до комплексної програми, яка була затверджена у березні 2006 року Кабінетом Міністрів України, до 2050 року передбачається будівництво п'яти вітроелектростанцій у Криму загальною потужністю 225 МВт [1]. Це становить приблизно четверту частину споживання електричної енергії Кримського півострова. Програмою розвитку вітроенергетики в Україні передбачається будівництво Джанкойської (16 МВт), Сакської (17,5 МВт) та Чорноморської ВЕС (5,4 МВт). На сьогодні підготовлене техніко-економічне обґрунтування будівництва Прісноводненської ВЕС потужністю 25 МВт з подальшим доведенням її до 50 МВт. У перспективі найпотужнішого має бути Східно–Кримська ВЕС (потужність 150 МВт).

У наш час в Криму експлуатуються такі ВЕС: Акташська (Східно – Кримська), Мирнівська, Воробйовська (Сакська), Тарханкутська, Донузлавська й Судакська.

2.2 Аналіз вітроелектричної станції як системи «ЛЮДИНА – ТЕХНІКА – СЕРЕДОВИЩЕ» за фактором шуму

2.2.1 Вплив шуму на людину в системі «ЛЮДИНА – ТЕХНІКА – СЕРЕДОВИЩЕ»

За останнє десятиріччя проблема боротьби з шумом у більшості країнах світу стала однією з найважливіших. Упровадження нових напрямків в енергетиці, технологічних процесів, підвищення потужностей та швидкохідності технологічного обладнання, механізація виробничих процесів спричинило те що, людина знаходиться під постійним впливом шуму високих рівнів.

Будівництво нових та розвиток інфраструктури існуючих міст, створення промислових об'єктів і реструктуризація населених пунктів формують нові системи ЛТС, що також змінює параметри існуючих джерел шуму. Одночасно можуть створюватися нові об'єкти, які потребують шумозахисту.

Під час проектування вітроелектричних станцій (ВЕС) для реалізації проекту враховують характеристики місцевості. Вона повинна характеризуватися необхідними вітровими характеристиками; необхідно також мати параметри та оцінку інших джерел шуму (ДШ), серед яких є

магістралі, промислові підприємства та комунальні об'єкти. Такі об'єкти можна об'єднати в комплекс – промислові джерела шуму (ПДШ).

Одним з головних завдань на цьому етапі є прогнозування та оцінка шумових режимів систем ЛТС, що містять ПДШ та об'єкти, що розташовані в навколишньому середовищі, зокрема житлові райони та рекреаційні зони.

У разі порушення вимог стандартів [13, 14, 15] виникає завдання з підвищення ефективності функціонування таких систем, забезпечення безпечних умов праці, комфортного побуту та відпочинку населення.

Залежно від рівня та характеру шуму, його тривалості та індивідуальних властивостей організму людини, шум може по-різному впливати на неї [8]. Тривалий вплив шуму на людину підвищує нервові напруження, спричиняє хронічну перевтому, виснаження центральної нервової системи і кори головного мозку. Це виявляється у зниженні рівня ефективності функціонування системи ЛТС, творчої діяльності, працездатності, безпеки праці, швидкої втомлюваності, ослаблення пам'яті, уваги, гостроти зору й чутливості до попереджувальних сигналів. Шкідливий вплив шуму на організм людини виявляється і в патологічних змінах в органах слуху, центральній нервовій та серцево–судинній системах.

Особливе місце серед патологічних змін органів слуху займають ураження, обумовлені впливом шумів та звуків, що характеризуються значним перевищенням допустимих рівнів [8–12]. Короткочасна дія шуму таких рівнів може спричинити повне порушення спірального органу й розірвання барабанної перетинки, яке супроводжується відчуттям закладення та різким болем у вухах.

Аналіз відповідних досліджень показує, що поряд зі значними перевагами вітроенергетики, вітроелектростанції їхня система ЛТС характеризуються і низкою негативних антропогенних факторів. Так, вони є одним із джерел шумового забруднення навколишнього середовища. Рівень шуму вітроенергетичних установок (ВЕУ), залежно від їхніх технічних характеристик, сягає 67–105 дБ.

Зазвичай, аналіз і наступне зниження рівня шуму в системі «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище» здійснюється в процесі її функціонування. Відсутність вирішення завдань зі зниження шуму на етапі проектування ВЕС спричиняє зниження ефективності функціонування

системи ЛТС, негативно впливає на людину, що виявляється у зростанні професійних захворювань, зниженні продуктивності, безпеки та якості праці, веде до збільшення витрат на медичне обслуговування та соціальне страхування, а також негативно впливає на флору та фауну Землі.

На сьогоднішній день накопичені результати теоретичних та експериментальних досліджень ДШ, створені методики з оцінки шумових режимів систем ЛТС, а також розробки щодо застосування шумозахисних засобів для забезпечення безпеки праці, побуту та відпочинку.

2.2.2 Класифікація джерел шуму в системі «ЛЮДИНА–ТЕХНІКА–СЕРЕДОВИЩЕ»

Джерела шуму в системі «ЛЮДИНА – ТЕХНІКА – СЕРЕДОВИЩЕ» класифікуються за такими трьома групами: транспорті, побутові, промислові (рис. 2.1).

Якщо вплив шуму автомобільного, залізничного та повітряного транспорту достатньо вивчений [16 – 25], то шумовипромінення вітроенергетичних установок досліджене не повністю [32, 34].

Використання ВЕС, незважаючи на їхні негативні шумові характеристики, має значну перевагу над традиційними джерелами енергії, які, у свою чергу, не тільки генерують значний рівень шуму, а й забруднюють повітря, ґрунт та водні ресурси [26, 27]. Тому вирішення завдання зниження рівня шуму в аналізованій системі ЛТС дає змогу підвищити ефективність її роботи внаслідок зменшення впливу на людину і оточуюче природне середовище

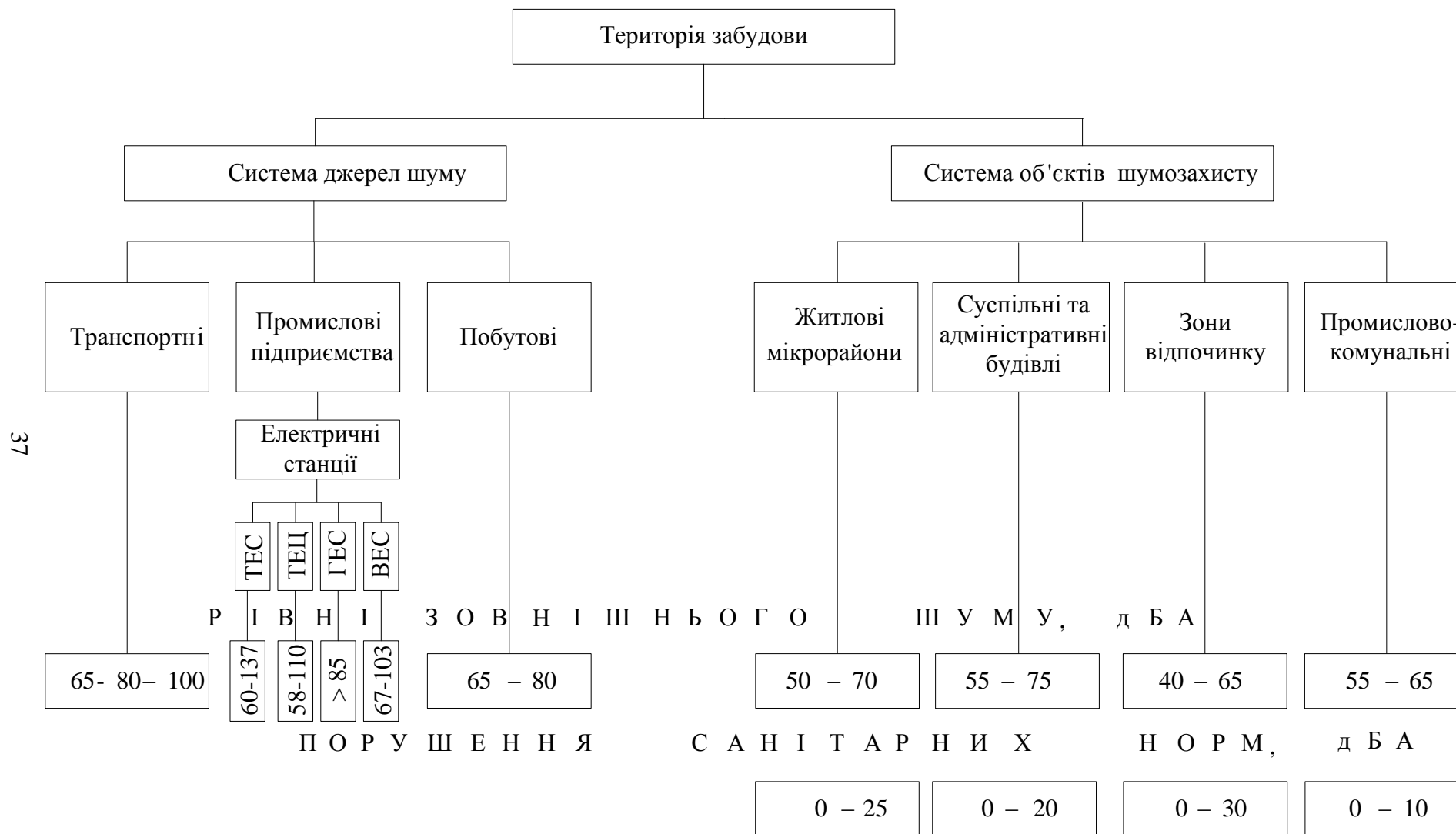


Рисунок 2.1 – Класифікація джерел шуму в системі ЛТС та об'єкти шумозахисту

2.2.3 Класифікація вітроенергетичних установок, що функціонують у системі «Людина–Вітроенергетична установка–Середовище»

Розроблені на сьогодні ВЕУ класифікуються таким чином (рис. 2.2) [28].

Залежно від *області застосування* механічні ВЕУ поділяються на дві підгрупи: вітронасосні та вітросилові (дод. А, табл. А.1).

Електричні *ВЕУ постійного струму* поділяються на три групи: вітрозарядні, гарантованого живлення, негарантованого живлення (дод. А, табл. А.2).

Електричні *ВЕУ змінного струму* поділяються за призначенням, керуванням та структурою системи генерування енергії на такі групи: автономні, гібридні, мережеві (дод. А, табл. А.3).

За конструктивними ознаками: ВЕУ з горизонтальною (рис. 2.3, а) та з вертикальною віссю обертання (рис. 2.3, б).

Більш широко використовуються вітроенергетичні установки з горизонтальною віссю обертання, тому що у таких ВЕУ більш високий коефіцієнт корисної дії. Виготовляють такі ВЕУ малих, середніх та великих потужностей.

2.2.4 Негативні фактори в системі «Людина – Вітроенергетична установка – Середовище»

Вітроенергетична установка, вітроенергетична станція, як антропогенні системи, характеризуються і негативними факторами. Перелік головних негативних факторів, що супроводжують роботу системи «Людина – ВЕС – Середовище» (рис. 2.4) [29, 30] такий:

1. Вилучення земельних ресурсів, зміна властивостей ґрунтового шару.
2. Вплив на земну, орніто- (перелітні шляхи) і морську фауну (у разі розміщення ВЕС на акваторіях).
3. Вплив на ландшафт та його сприйняття людиною.
4. Електромагнітне випромінювання, що впливає на середовище (людину, навколишнє середовище, телебачення, радіозв'язок).

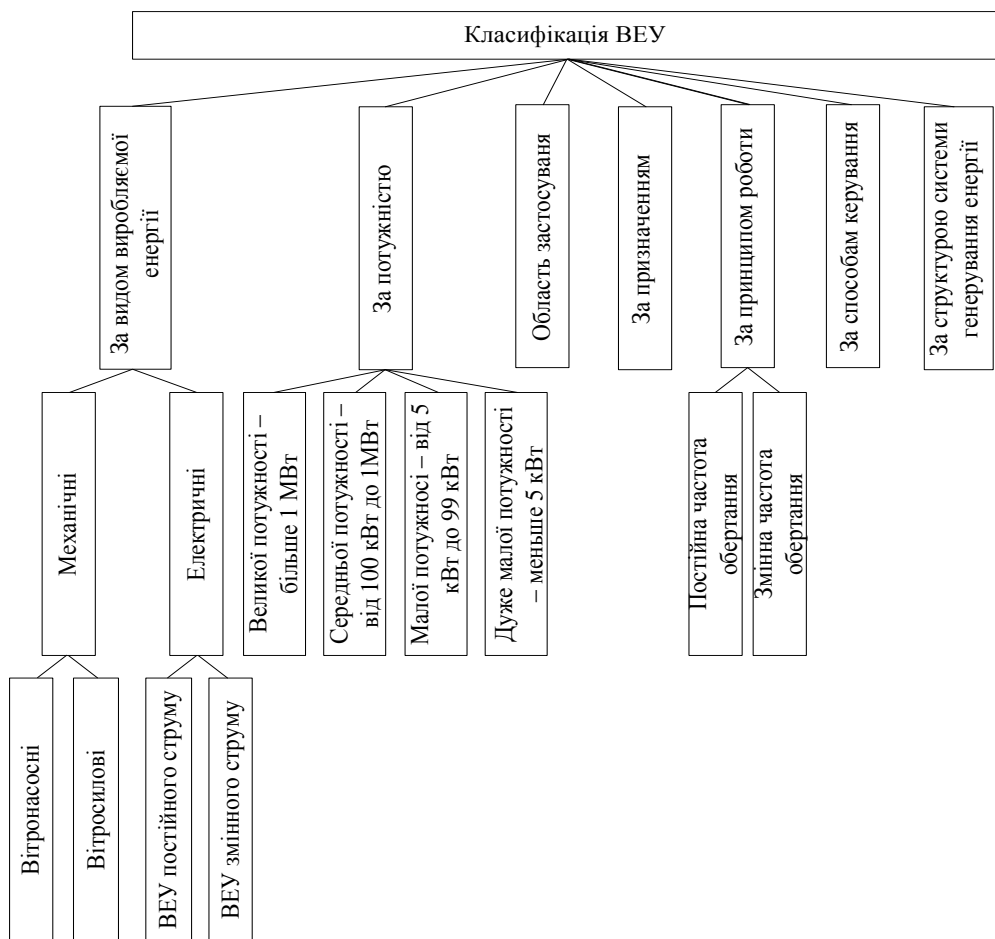


Рисунок 2.2 – Класифікація вітроенергетичних установок

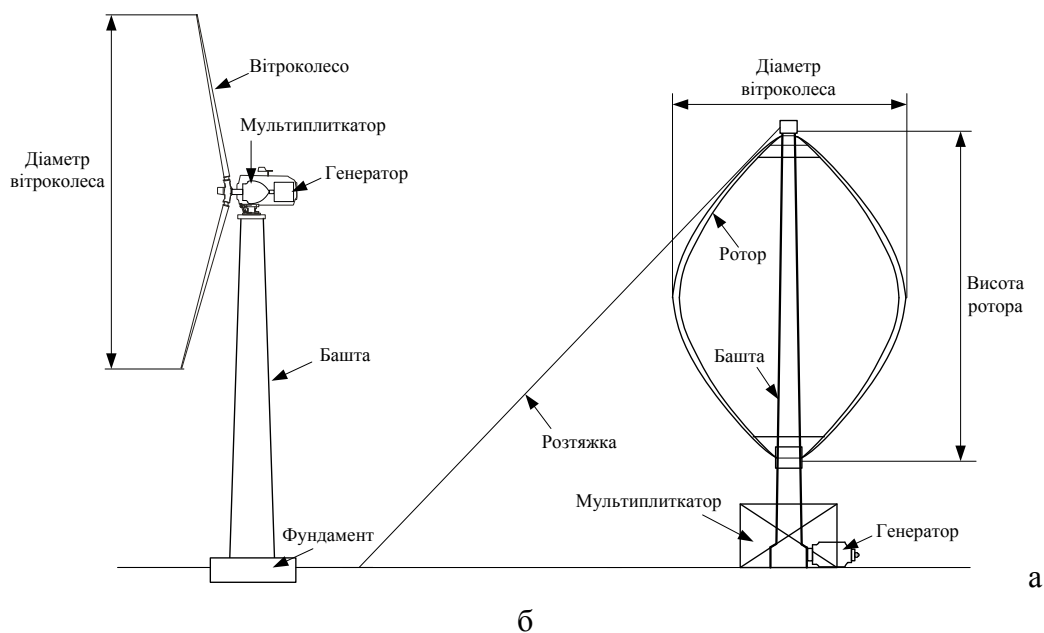


Рисунок 2.3 – Вітроенергетичні установки з горизонтальною та вертикальною віссю обертання

5. Аварійні ситуації, небезпека поломки й відпадання ушкоджених частин вітроколеса (ВК).

6. Підвищений рівень шуму.

Розглянемо докладніше вплив кожного із вказаних вище негативних факторів.

Будівництво ВЕС супроводжується вирубанням великих площ під будівництво, що можуть бути використані в сільському господарстві.

Дослідження показують, що вітроенергетичні установки впливають також і на фауну ґрунту, що спричиняє до зміни у звичному природному циклі [29].

Проблема використання території спрощується у разі розміщення ВЕС на акваторіях, але спричиняє ступінь негативного впливу на фауну водного простору практично не вивчений.

Візуальний вплив вітроелектростанцій є здебільшого, суб'єктивним фактором. Для поліпшення естетичного вигляду ВЕС у багатьох фірмах працюють професійні дизайнери. Залучаються також ландшафтні архітектори для обґрунтування нових проектів.

У разі аварійних (конструктивних) ситуацій на ВЕУ масштаби ураження можуть бути різними (небезпека поломки й відпадання ушкоджених частин вітроколеса). Вони здебільшого залежать від розмірів ВЕУ, її місця розташування відносно знаходження обслуговуючого персоналу, сельбищної зони, автомагістралей.

Вирішення проблеми забезпечення акустичного комфорту, розроблення заходів і засобів захисту людини під час функціонування системи ЛТС, на сьогодні є одним з головних завдань, що відноситься, як сельбищної, так і виробничої зон. Аналіз літературних даних показує, що на вирішення цієї проблеми звертається достатня увага [29–32, 54–57].

В перших дослідженнях шуму від ВЕУ встановлено, що він генерується механічними, аеродинамічними та електромагнітними нестационарними процесами, що є змінними в часі й похідними від роботи кінематичних, електричних і електромеханічних вузлів. Аналіз показує, що в обертових машинах є дві складові шуму: механічна й аеродинамічна [31].

У 60-ті роки були розпочаті дослідження аеродинамічної складової шуму. Дослідники вивчали фізичний бік причин появи такого шуму. Цей напрямок досліджень мав на меті вивести розрахункові формули, за

допомогою яких можливо було б, виходячи з характеристик машин, визначити звукову потужність чи звуковий тиск. До таких характеристик машини належать: її конструкційні характеристики (геометричні розміри, властивості матеріалу) характеристики загрузки генератора, способи його закріплення тощо. [18].

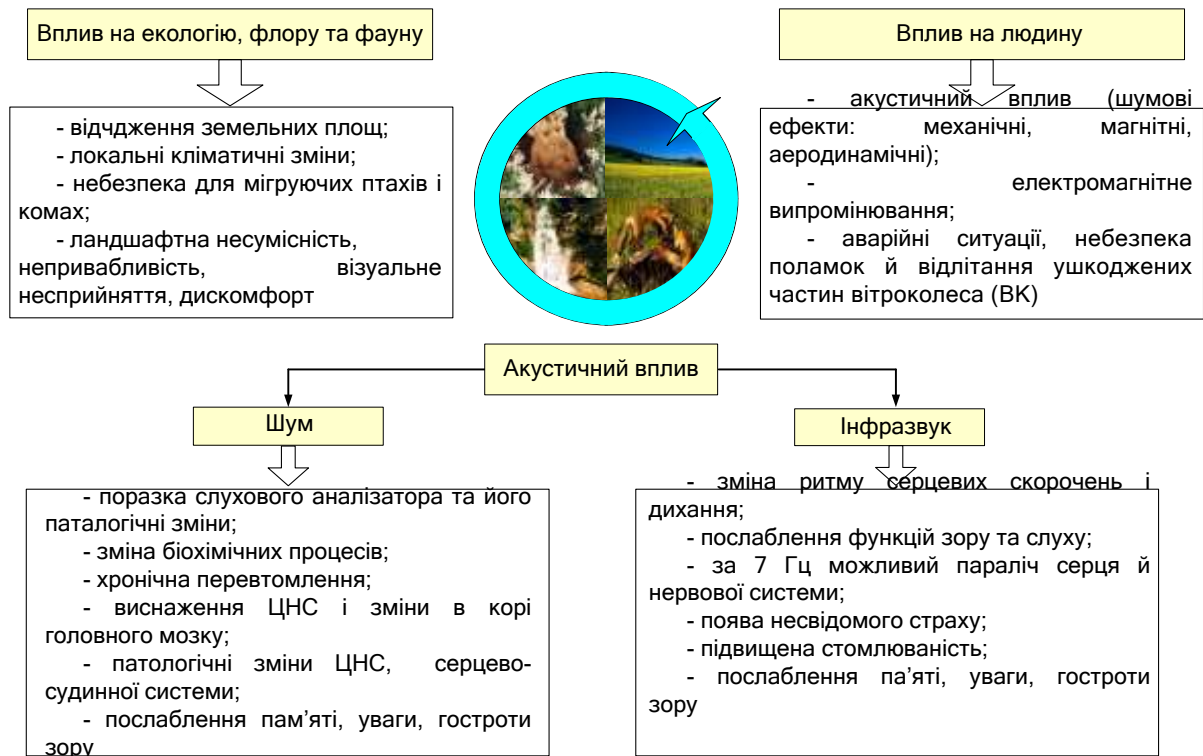


Рисунок 2.4 – Негативний вплив вітрових електростанцій на людину, флору й фауну

Аналіз опублікованих даних [18] дав змогу зробити висновок проте, що в оберտальних машинах присутня й магнітна складова шуму, яка, зі свого боку, має достатньо велике значення. Протягом значного відрізка часу на вивчення магнітного шуму зверталася велика увага.

Причиною *магнітного* шуму оберտальних машин є електромагнітне поле, яке виникає між ротором та статором (магнітне поле в повітряному зазорі). Знакозмінне електромагнітне поле збуджує в статорі та роторі вібрацію звукового діапазону, яка випромінюється електричною машиною і є похідною звукового поля. Знакозмінні сили, які збуджують вібрацію, мають дискретний спектр, а отже, обумовлений ними шум складається з низки тональних складових [18]. Для вивчення процесу виникнення й характеристик магнітного шуму визначають такі параметри: магнітне поле

в повітряному зазорі і його силову дію на конструкцію; параметри вібрації конструкції, що виникає внаслідок впливу магнітного поля; характеристики шуму, обумовленого звуковою вібрацією, який випромінюється в навколишнє середовище.

Механічний шум виникає внаслідок відносного руху кінематичних пар у механічних вузлах і залежить від їхніх динамічних характеристик (рис. 2.5) [31]. Джерелами такого шуму у ВЕУ можуть бути такі вузли:

1. Редуктор.
2. Генератор.
3. Вентилятори охолодження.
4. Допоміжне обладнання (гідроліка тощо).

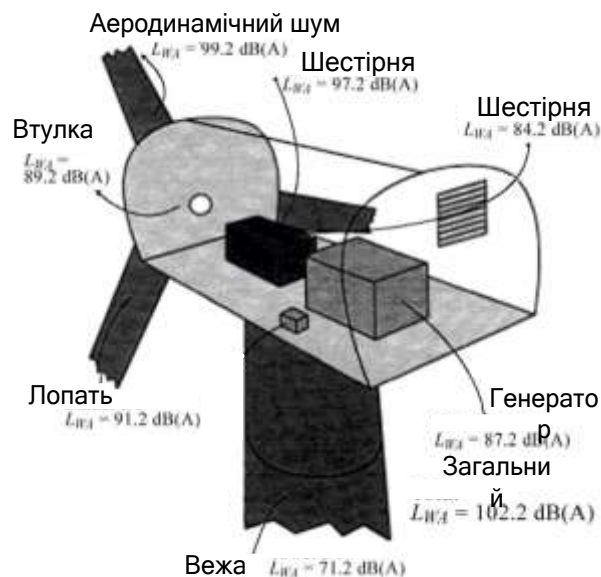


Рисунок 2.5 – Рівні шуму окремих вузлів вітроелектричної установки

Аеродинамічний шум обертальної машини утворюється з фонового шуму, на який накладаються дискретні складові [32]. Цей шум може бути низькочастотним (менше 16–20 Гц) і високочастотним (від 20 Гц до декількох кГц). Він виникає внаслідок обертання робочого колеса й супроводжується такими наступними явищами:

1. Утворення розрідження за ротором або вітроколом з направленням потоків повітря в точку сходження турбулентних потоків.
2. Пульсація піднімальної сили на профілі лопаті.
3. Взаємодія турбулентного прикордонного шару із заднім краєм лопаті.

Рівень шуму в безпосередній близькості від осі ВЕУ може перевищувати 100 дБ.

Аеродинамічний широкосмуговий шум виникає через повітряний потік, який утворюється навколо лопаті (рис. 2.6). Він збільшується з частотою обертання ротора. Цей вид шуму поділяється на такі три групи:

1. Низькочастотний шум, що утворюється під час зіткнення обертаючої лопаті з повітряним потоком.

2. Усмоктувальний шум турбулентності, що залежить від загальної атмосферної турбулентності, яка спричиняє значне чи місцеве посилення тиску навколо лопаті.

3. Власний шум лопаті – це група шумів, що утворюються внаслідок впливу повітряного потоку на поверхню лопаті. Цей тип шуму має широкосмуговий характер. Тональна складова його може виникнути внаслідок проходження повітряного потоку крізь щілини та отвір.



Рисунок 2.6 – Повітряний потік, що утворюється навколо лопаті

Виокремлюють такі чотири типи шуму від ВЕУ:

1. Тональний шум, що визначається як звук на дискретних частотах. Він спричиняється деталями шестерні внаслідок нестійкої взаємодії повітряних потоків з поверхнею лопатей ротора; непостійності повітряних потоків, що протікають отворами чи розрізами, прямолінійним кінцевим краєм лопаті (рис. 2.6).

2. Широкосмуговий звук, що характеризується безперервним розподілом звукового тиску з частотами вище 100 Гц. Він виникає в наслідок взаємодії лопатей вітротурбіни з атмосферою турбулентністю і визначається як «супроводжуваний свистом».

3. Низькочастотний шум з частотами у діапазоні 20–100 Гц, головним джерелом якого є взаємодія ротору з вітровим потоком (турбіни з ротором, які розташовані на вітряній стороні опори).

4. Імпульсний шум. Цей вид шуму є короткими акустичними імпульсами або звуками, подовженістю не більше 1 с. Цей тип шуму на ВЕУ генерується внаслідок взаємодії лопатей вітротурбіни з порушеним повітряним потоком навколо опори.

Проведені дослідження доводять, що на ВЕУ присутній не тільки шум звукового діапазону частот, а й інфразвук, дія якого спричиняє більш масштабний негативний вплив.

На сьогодні про проблему шумового впливу вітряних електростанцій, свідчать наявні дослідження британських медиків. Внаслідок їхніх досліджень встановлено що люди, які живуть неподалік від ВЕУ чи ВЕС, страждають на головний біль, безсоння та депресію. [33].

2.3 Методи оцінювання рівня шуму в системі ЛТС на території вітроелектростанцій та прилеглих сельбищних зон

2.3.1 Визначення завдання

Оцінка рівня шуму в системі ЛТС на території вітроелектростанцій і прилеглих до них сельбищних зон передбачає визначення таких характеристик:

1. Вимірювання шумових характеристик джерел шуму (ДШ) в системі ЛТС на території ВЕС, на робочих місцях обслуговуючого персоналу й інтегрованої характеристики шуму від ВЕС. Ці дані використовують для розроблення заходів підвищення ефективності роботи системи ЛТС, що функціонує на території ВЕС.

2. Встановлення та побудова конфігурації звукового поля в системі ЛТС на територіях, прилеглих до ВЕС. Далі виявляють на цих територіях об'єкти, які є критичними до рівнем шуму. За побудованою конфігурацією звукового поля визначають на таких об'єктах рівень шуму, порівнюють його з допустимими санітарними нормами і визначають необхідність розроблення заходів чи засобів для зниження рівня шуму.

Характеристики шуму від ВЕС можна отримати шляхом вимірювання, за допомогою розрахункових методів або використовуючи існуючі аналоги.

Згідно із стандартами, постійні ДШ характеризуються звуковою потужністю та рівнем звукового тиску в октавних смугах частот з середньгеометричними значеннями в діапазоні 16–20 000 Гц та для інфразвуку – рівнем звукового тиску в октавних смугах частот з середньгеометричними значеннями 4–16 Гц [34–37]. Характеристикою непостійного шуму є еквівалентний рівень звуку, (до таких джерел належать більшість міських ДШ). Ці характеристики визначаються за відповідними методиками, частина з яких стандартизована [34–43].

2.3.2 Методи оцінювання рівня шуму в системі ЛТС.

Вимірювання рівня шуму на території

вітроелектростанції та прилеглих сельбищних зон

Фактично ВЕУ є осьовими вентиляторами, що розташовані на відкритій місцевості та мають великі розміри. Вітрові установки є точковими ДШ. Оточуючи такий ДШ умовною сферою з достатньо великим радіусом r ($S = 4\pi r^2$), отримаємо величину середньої інтенсивності звуку на поверхні цієї сфери (Вт/м^2) [44]:

$$I_{\text{cp}} = \frac{P}{4\pi r^2}. \quad (2.1)$$

Цей вираз передбачає однакове випромінювання шуму у всіх напрямках, що справедливо для точкового джерела. На практиці, однак ДШ досить часто випромінює звукову енергію за різними напрямками нерівномірно. Такі ДШ володіють певною діаграмою направленості випромінювання [44]. Ця нерівномірність характеризується коефіцієнтом Φ – фактором направленості (відношенням інтенсивності звуку, що створює направлене джерело у визначеній точці I , до інтенсивності I_{cp} , яку розвинуло б ненаправлене джерело в цій же точці, з тією ж звуковою потужністю та інтенсивністю звуку:

$$\Phi = \frac{I}{I_{\text{cp}}} = \frac{p^2}{p_{\text{cp}}^2}. \quad (2.2)$$

Характеристики направленості подають у вигляді залежності показника направленості G , виміряного шумоміром в децибелах.

Показник направленості фактично залежить від кута між обраним напрямком і віссю джерела шуму. Він визначається за формулою:

$$G = 10 \lg \Phi = 10 \lg \frac{I}{I_{\text{ср}}} = 20 \lg \frac{p}{p_{\text{ср}}} = L - L_{\text{ср}}, \quad (2.3)$$

де p та L – звуковий тиск та його рівень, виміряний на певній відстані від джерела, дБ;

$p_{\text{ср}}$ та $L_{\text{ср}}$ – звуковий тиск та його рівень, середній за всіма напрямками за тієї ж відстані.

Так, шум осьового вентилятора випромінюється, здебільшого за напрямом його осі (рис. 2.7).

Визначення рівня звукового тиску в сельбищній зоні проводять за формулою:

$$L = L_p - 20 \lg r - \frac{\beta_a r}{1000} - 8, \quad (2.4)$$

де: L_p – рівень звукової потужності джерела шуму, дБ;

r – відстань, м;

β_a – затухання звуку в атмосфері, дБ/км.

Наведена формула (2.4) використовується для точкового ДШ. У роботі однак вказується, що закономірність $20 \lg r$ є дійсною, якщо $r > \sqrt{S}$, якщо S – площа джерела. Коли підприємство займає територію приблизно 100 га, то $r > 1000$ м. Отже, використання формули є доцільним.

Наступним методом, що використовується для визначення шумових характеристик джерел шуму, є метод «невеликих відстаней» [36, 45]. За цим методом вимірювання здійснюється на невеликих відстанях від джерела шуму. У разі ж великих розмірів ДШ, яким є ВЕС, використання цієї методики є некоректним.

Для визначення шумового режиму ДШ у прилеглих сельбищних зонах використовують такі методи: картографічний, метод рівного кута, метод «променів» [46–48].

Картографічний метод використовують для визначення шумового режиму при магістральних територіях та житлової забудови [46].

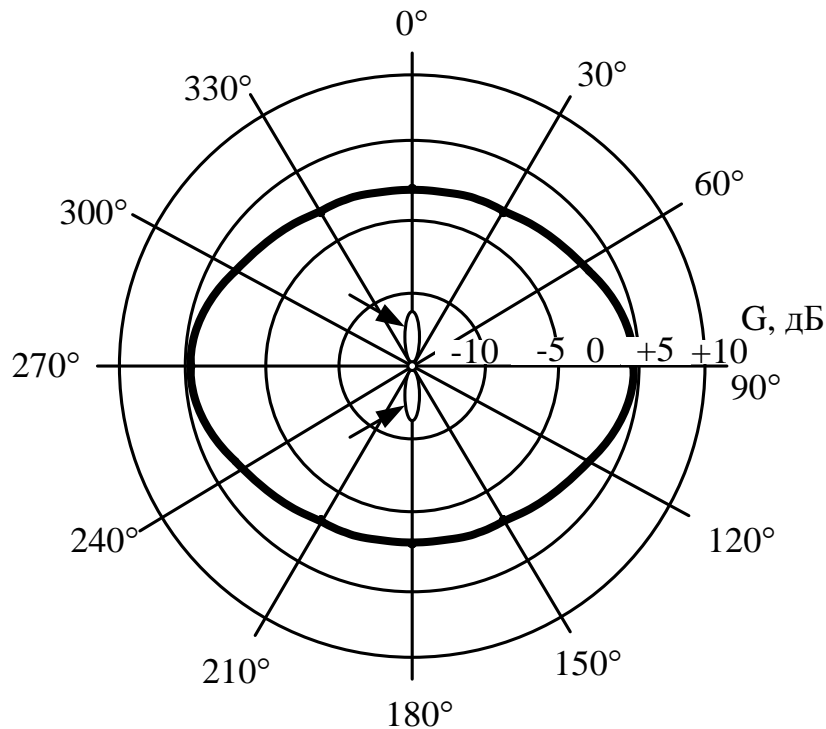


Рисунок 2.7 – Діаграма направленості шуму осьового вентилятора

Суть метода полягає у тому, що на територію, яку досліджують, накладають сітку з фіксованими квадратами. Проводять вимірювання у вузлах координатної сітки. Після оброблення даних результати наносять на план території у вигляді ліній, що позначають рівень звуку. Цей метод з допустимою точністю відображає карту шумового режиму, але потребує великих затрат часу.

Під час визначення шумового режиму методом рівного кута, точки вимірювання розташовують вздовж лінії (так званої контрольної межі шуму) таким чином, щоб з однієї точки охоплювати один сектор межі джерела шуму з постійним кутом огляду [47].

У методі «променів» вимірювання проводять у необхідній кількості точок, розташованих на променях – напрямках, які відходять від ДШ. Використання цього методу ускладнене, якщо ВЕУ на ВЕС розташовані в один ряд, а отже довжина її дуже велика [48].

Згідно з рекомендаціями, проводити натурні вимірювання необхідно в точках, які знаходяться на вимірювальному контурі чи вимірювальній лінії, яка знаходиться за межею ДШ на відстані 30 м від її межі, але не

ближче 5 м [49]. Відстань між точками вимірювання на вимірювальному контурі чи лінії повинна бути не більше 50 м, а рівень шуму, виміряний у сусідніх точках, не повинен відрізнятися більше ніж на 5 дБА. Кількість точок вимірювання повинна бути не менше 8, ці точки не повинні розташовуватися у сфері «звукової тіні».

Шумові характеристики – середній $\bar{L}_{P_{Acp}}$, дБА та максимальний $\bar{L}_{P_{Amax}}$, дБА, рівні звуку, кореговані рівні звукової потужності, а також показники направленості випромінювання G_j , дБА визначають за формулами [49]:

$$\bar{L}_{P_{Acp}} = \bar{L}_{A_{екв}} + 10 \lg \frac{2S}{S_0}; \quad (2.5)$$

$$\bar{L}_{P_{Amax}} = \bar{L}_{A_{max}} + 10 \lg \frac{2S}{S_0}; \quad (2.6)$$

$$G_j = L_{A_{еквj}} - \bar{L}_{A_{екв}}, \quad (2.7)$$

де: $\bar{L}_{A_{екв}}$ та $\bar{L}_{A_{max}}$ – середні значення еквівалентного та максимального рівня звуку на вимірювальному контурі, дБА;

S – площа території промислового підприємства (ВЕС), м²,
 $S_0 = 1 \text{ м}^2$;

$L_{A_{еквj}}$ – вимірюване значення еквівалентного рівня звуку в точці j , дБА.

Згідно з дослідженнями [50], підприємство (ВЕС) подавалося у вигляді точкового джерела, розташованого в еквівалентному акустичному центрі з такими координатами:

$$x_c = \frac{x_1 \cdot 10^{0,1L_1} + x_2 \cdot 10^{0,1L_2} + \dots + x_n \cdot 10^{0,1L_n}}{10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + \dots + 10^{0,1L_n}}; \quad (2.8)$$

$$y_c = \frac{y_1 \cdot 10^{0,1L_1} + y_2 \cdot 10^{0,1L_2} + \dots + y_n \cdot 10^{0,1L_n}}{10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + \dots + 10^{0,1L_n}}, \quad (2.9)$$

де: x_c , y_c – координати еквівалентного акустичного центру підприємства;

$x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_n, y_n$ – координати точок вимірювання;

L_1, L_2, \dots, L_n – вимірювані рівні звуку, дБА.

Ця модель проста, універсальна, але має такі обмеження в застосуванні:

- метод розрахунку застосовують для оцінки шумового режиму на відстанях, що порівнюються з найбільшим лінійним розміром ділянки підприємства;

- метод не враховує наявності будівель на території підприємства;

- помилка в розрахунках на відстанях за межою підприємства може сягати 6–10 дБ;

- метод не враховує впливу містобудівельних умов під час розрахунку розповсюдження шуму.

Існує три принципових критерії оцінки шумового режиму [18]:

- за рівнем гучності звуку;

- за рівнем звукового тиску;

- за кривими граничних спектрів.

Шум має рівень гучності n (фон), Це та ж гучність, що і чистий тон з частотою 1 000 Гц та рівнем звукового тиску n (дБ). Кількісно визначена гучність прямо пропорційна силі її суб'єктивного сприйняття. Для визначення залежності гучності S і рівнів гучності L_S використовують такі формули:

$$S = 2^{0,1 L_S - 40}, \quad (2.10)$$

$$L_S \approx 40 + 33 \lg S. \quad (2.11)$$

У повсякденній практиці досліджень суб'єктивне визначення гучності є трудомістким і дорогим.

Дослідники Стівенс, Цвіккер, Нізе розробили розрахункові методи оцінки рівня гучності.

Метод Стівенса зазвичай застосовують для дифузних полів і трьохоктавних, напівоктавних та октавних смуг. Рівень звуку кожної смуги частот відповідає «індексу гучності» S (рис. 2.8). Гучність S_t шуму в зонах розраховується за такою формулою:

$$S_t = S_{\max} + F(\sum S - S_{\max}) \quad (2.12)$$

де S_{\max} – індекс гучності найбільш гучної смуги частот;

$\sum S$ – сума індексів гучності окремих смуг частот;

F – допоміжний коефіцієнт для октавних, напівоктавних та трьохоктавних смуг. Відповідно $F = 0,3; 0,2$ і $0,15$.

Визначена таким способом гучність у зонах перераховується в рівень гучності $L_{\text{ОД}}$ у фонах ОД за допомогою формул (2.10, 2.11) або за номограмою (рис. 2.8).

Метод Цвіккера застосовують для вільного (індекс С) і дифузного (індекс D) звукових полів і трьохоктавних смуг. Трьохоктавні спектри зводяться в групи частот (індекс Г) із рівнів звуків. Використовуючи криві рівня гучності і враховуючи ефект накладання на сусідні групи, можна графічно розрахувати сумарну гучність, яка виражається у фонах ГС або (ГД).

Розрахунок «сприйманого рівня шуму» виконують за методом, що розроблений Крайтером і Пірсоном. Цей метод подібний до метода Стівенса.

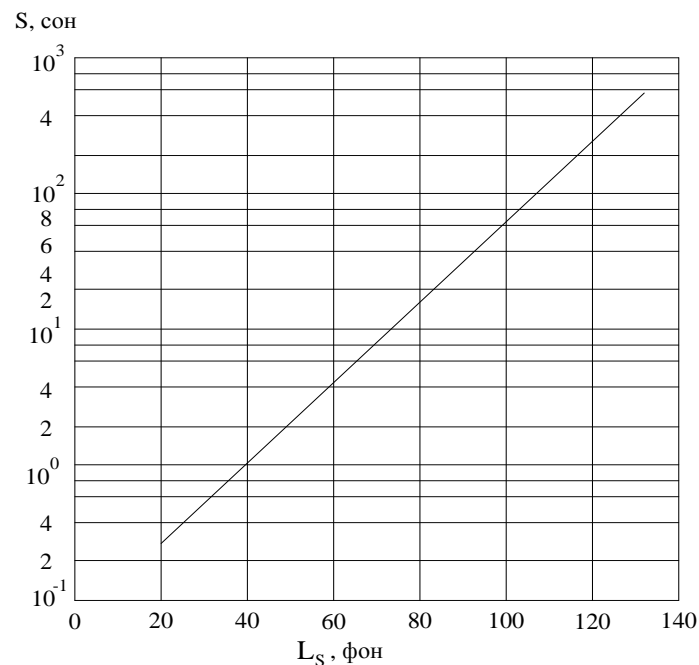


Рисунок 2.8 – Залежність рівня гучності від гучності

Залежно від характеру спектра шуму використовують рівняння $L_{\text{PN}} \approx L_A + (9-14)\text{дБ}$. За допомогою цього метода визначається так звана «сприйнята шумність» n (нойз).

Особливістю цього методу визначення L_{PN} є враховування внеску в загальний показник «сприйманого рівня шуму» високочастотних складових. Наслідком цього є досить значне відхилення отриманих значень L_{PN} від визначених за методами розрахунку рівнів гучності.

Оцінка шумового режиму за рівнем звукового тиску виконується вимірюванням цієї характеристики у визначених точках за допомогою прецизійних шумомірів. У приладі передбачене корегування виміряних рівнів шуму за частотою та часом дії шуму [18]. Для частотного корегування використовуються залежності, що враховують особливості сприйняття звуків звуковим аналізатором людини. Часове корегування полягає в регулюванні залежності величини звукового тиску від часу або від тривалості шуму.

У разі використання методу граничних спектрів результати вимірів (величини звукового тиску в кожному октавному спектрі) наносяться на графіки гранично допустимих величин в кожному зі спектрів. Перевищення виміряної величини звукового тиску в будь-якому октавному спектрі в порівнянні з граничним свідчить про необхідність її зниження. Недоліком цього методу є великий обсяг вимірювальних робіт.

Санітарні норми регулюють вибір методів вимірювання шуму та інфразвуку [15]. Згідно з цими положеннями, результати вимірювань мають характеризувати вплив шуму на працюючих за час робочої зміни (робочого дня).

Вказаним нормативним документом встановлюється така тривалість вимірювання непостійного шуму:

- для переривчастого шуму: за час повного робочого циклу з урахуванням сумарної тривалості перерв, з рівнем фонових шуму;
- для шуму, що коливається в часі: загальна тривалість вимірювання складає 30 хв безперервно або допускається вимірювання, що складається з трьох циклів, по 10 хв кожний;
- для імпульсного шуму: тривалість вимірювання – 30 хв.

До початку та після закінчення вимірювань обов'язково повинна бути проведена акустичне або електричне калібрування вимірювальних приладів. Різниця в калібруванні не повинна перевищувати 1 дБ.

Вимірювання здійснюють таким чином: мікрофон розташовують на висоті 1,5 м над рівнем підлоги чи робочого майданчика (якщо робота виконується стоячи) чи на висоті і на відстані 15 см від вуха людини, на яку діє шум (якщо робота виконується сидячи чи лежачи). Мікрофон повинен бути зорієнтований у напрямку надходження максимального рівня шуму та віддалений не менше ніж на 0,5 м від оператора, який проводить вимірювання.

При швидкості руху повітря більше ніж 1 м/с на місці, де проводяться виміри, мікрофон повинен бути захищений протиповітряним пристроєм.

Під час проведення вимірювань октавних рівнів звукового тиску перемикач частотної характеристики пристрою встановлюють в положенні «фільтр». Октавні рівні звукового тиску вимірюють у октавних смугах з відповідними середньгеометричними частотами [15].

При проведенні вимірювань рівнів звуку та еквівалентних рівнів звуку дБА, дБА_{екв} перемикач частотної характеристики шумоміра встановлюють у положенні «А» чи «А_{екв}».

Під час проведення вимірювань рівнів шуму та октавних рівнів звукового тиску для постійного шуму перемикач часової характеристики шумоміру встановлюють у положенні «Повільно». Значення рівнів приймають за середніми показниками при коливанні стрілки шумоміра. Значення рівнів шуму та октавних рівнів звукового тиску фіксують зі шкали вимірювального пристрою шумоміра з точністю до 1 дБА (дБ).

Вимірювання рівнів шуму та октавних рівнів звукового тиску постійного шуму повинні бути проведені у кожній точці вимірювань. Кількість вимірів у кожній точці – не менше трьох разів.

Під час проведення вимірювань еквівалентних рівнів шуму, що змінюються в часі, перемикач часової характеристики шумоміру встановлюють у положенні «Повільно».

Під час проведення вимірювань максимальних рівнів імпульсного шуму перемикач часової характеристики вимірювального пристрою шумоміру встановлюють у положення «Імпульс». Значення рівнів приймають за максимальним показником пристрою.

Інтервали відліку для рівнів шуму, що змінюються в часі, при вимірюваннях еквівалентного рівня тривалістю 30 хв повинні становити 5–6 с при загальній кількості вимірів 360.

Для наочного графічного зображення розподілу рівнів шуму у виробничих приміщеннях рекомендується складати карти шуму для робочих місць.

Вимірювання інфразвуку проводять на постійних робочих місцях (біля органів керування машин, пультів, в кабінах і тощо) або в робочих зонах обслуговування у разі роботи обладнання у характерному режимі.

Вимірювання інфразвуку проводять шумомірами 1-ого класу точності з частотною характеристикою від 1 Гц з октавними або трьохоктавними фільтрами. Мікрофон повинен мати нижню частотну межу 2–3 Гц. Дозволяється використання магнітографа з частотною характеристикою не менше, ніж 2 Гц.

Для постійного інфразвуку проводять вимірювання рівня звукового тиску у дБ_{ліп} та рівня шуму у дБА, а також частотного спектру в октавних смугах. Відлік даних виконують за середнім положенням стрілки шумоміра на характеристиці «Повільно» або проводять запис інфразвуку на магнітний носій.

Для непостійного інфразвуку визначають його відповідні еквівалентні рівні. Якщо непостійний інфразвук випромінюється у вигляді імпульсів або піків, що повторюються, то в цьому разі проводять додатково відлік даних за показником шумоміра «Швидко» за максимумом показника.

Розрахунок октавних рівнів звукового тиску L (дБ) у сельбищній зоні проводять за методикою [51, 26] з використанням такої формули:

$$L = L_p + 10 \lg \Phi - 10 \lg \Omega - 20 \lg r - \frac{\beta_a r}{1000} + \Delta L_{отр} - \Delta L_c, \quad (2.10)$$

де L_p – октавний чи октавноеквівалентний рівень звукової потужності джерела шуму, дБ;

Φ – фактор направленості джерела шуму (для ненаправленого джерела шуму $\Phi = 1$);

Ω – просторовий кут, стерadian, у якому випромінюється шум від ДШ (для ДШ в просторі $\Omega = 4\pi$; на території сельбищної зони чи за наявності обмежуючих розповсюдження шуму конструкцій, будівель чи споруд $\Omega = 2\pi$);*

* Джерело шуму, яке знаходиться над поверхнею території чи на обмежуючих конструкціях, будівлях або спорудах, необхідно вважати розташованим у просторі за умови виконання нерівності:

$$H_{дш} > 0,5r_i,$$

де r_i – відстань від ДШ до розрахункової точки (РТ);

$H_{дш}$ – висота джерела шуму над поверхнею.

r – відстані від акустичного центру до РТ, м. За акустичний центр ДШ, розташований над поверхнею землі, на певній відстані, приймають як проекцію його геометричного центру на поверхню. У просторовому ДШ акустичний і геометричний центри співпадають;

β_a – коефіцієнт поглинання звуку в повітрі, дБ/км (табличні значення). При $r < 50$ м поглинання звуку в повітрі не враховується;

$\Delta L_{отр} = 3n$ – підвищення рівня звукового тиску внаслідок відбиття звуку від поверхонь (земля, стеля, кут двох стін), розташованих на відстані r від розрахункової точки. $\Delta L_{отр}$ не перевищує $0,1 \cdot r$ дБ;

n – кількість поверхонь, що відбивають звук (поверхня землі не враховується, якщо відбиття від неї враховано в значенні просторового кута Ω). Зазвичай, $n < 3$;

ΔL_c – додаткове зниження рівня звукового тиску елементами навколишнього середовища, що розраховується за формулою:

$$\Delta L_c = \Delta L_{екр} + \Delta L_{пов} + \beta_{оз} l + \Delta L_{пог}, \quad (2.11)$$

де $\Delta L_{екр}$ – зниження рівня звукового тиску екранами, які розташовані між ДШ та ТР. Визначається за виразом (2.12);

$\Delta L_{пов}$ – зниження рівня звукового тиску поверхнею землі. Визначається за виразом (2.13);

$\beta_{оз}$ – коефіцієнт ослаблення звуку смугою лісонасаджень, дБ/м. Визначається за виразом (2.14);

l – ширина лісонасаджень, м;

$\Delta L_{пог}$ – зниження рівня звукового тиску, обумовленого погодними умовами. Визначається за виразом (2.15).

$$\Delta L_{екрі} = 20 \lg \sqrt{0,037 f \delta_i} + \sqrt{0,037 f \delta_i} \pm 5, \quad (2.12)$$

де f – середньгеометрична частота октавної смуги, Гц;

Чисельні значення величини $10 \lg \Omega$ становлять 8 дБ і 11 дБ при Ω , відповідно рівних $2\pi, 4\pi$.

δ_i – відносна відстань від ДШ до РТ, м ($\delta_i = a_i + b_i \cdot d_i$);

$a_i + b_i$ – довжина найкоротшого шляху від ДШ до РТ, який проходить крізь i -ий край екрана, м;

d_i – найкоротша відстань між ДШ та РТ, м.

Розрахунок зниження рівня звуку над поверхнею землі проводять за допомогою такої формули:

$$\Delta L_{\text{пов}} = 9,2 \lg r - 17 + 0,4 \cdot 20 - 12 \lg H_{\text{рт}} \cdot H_{\text{дш}} \cdot [0,6 \lg r - 0,7], \quad (2.13)$$

де $H_{\text{рт}}$ – висота РТ, м;

$H_{\text{дш}}$ – висота ДШ, м.

Коефіцієнт ослаблення звуку смугою лісонасаджень в октавних смугах частот визначається за наступною формулою:

$$\beta_{\text{оз}} = \beta_{\text{аоз}} \left(\sqrt[3]{\frac{f}{8}} \right), \quad (2.14)$$

де $\beta_{\text{аоз}}$ – коефіцієнт ослаблення звуку смугою лісонасаджень.

Додаткове зниження шуму, обумовлене погодними умовами, визначається такою формулою:

$$\Delta L_{\text{пог}} = \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot r^2}{1 + 1,6 \cdot 10^5 \cdot r^2}. \quad (2.15)$$

Згідно з документом [52], вимірювання шумових характеристик ВЕУ здійснюють за допомогою вимірювачів рівня шуму, що відповідають вимогам типу 1 за ІЕС 60804. Мікрофони вимірювального приладу повинні бути захищені від вітру захисним екраном. Вимірювальну апаратуру необхідно калібрувати перед і після вимірювань.

Для проведення акустичних вимірювань необхідне таке обладнання:

- для визначення постійного еквівалентного А-зваженого рівня звукового тиску. Діаметр мікрофона повинен бути не більший, ніж 13 мм;
- для визначення спектрального рівня шуму в октавних або третиннооктавних смугах частот;
- для визначення спектрів спектрального рівня шуму на вузьких смугах частот;
- мікрофон з відбивальною поверхнею та пристосуванням захисту від вітру;
- акустичний калібратор.

Для проведення неакустичних вимірювань, які необхідні для забезпечення необхідної точності досліджень, потрібне таке обладнання:

- анемометри;
- прилад для вимірювання напрямку вітру;
- прилади для вимірювання відстані, температури повітря та атмосферного тиску.

Мікрофон (мікрофони) під час вимірювань повинні бути розташовані так, як зображено на рисунку 2.9. Мікрофони встановлюють на пласкій жорсткій підставці, яку ставлять на землю. Підставка повинна бути виготовлена з акустичножорсткого матеріалу (кренєва фанера, жорсткий картон завтовшки не менше 12,0 мм або метал, завтовшки не менше ніж 2,5 мм).

Унормовану відстань R_0 розраховують за формулою:

$$R_0 = H + \frac{D}{2} \quad (2.16)$$

де H – висота ступиці ВЕУ, м;

D – діаметр ротора ВЕУ, м.

Вимірювання рівня звукового тиску та швидкості вітру виконують одночасно через короткі проміжки часу.

Акустичні вимірювання на нормованій позиції 1 та на позиціях 2, 3, 4 містять визначення таких величин: А-зваженого рівня звукового тиску, вимірювання в октавних і трьохоктавних смугах частот, вимірювання на вузьких смугах частот, довільні вимірювання. Найменша кількість вимірювань складає 30.

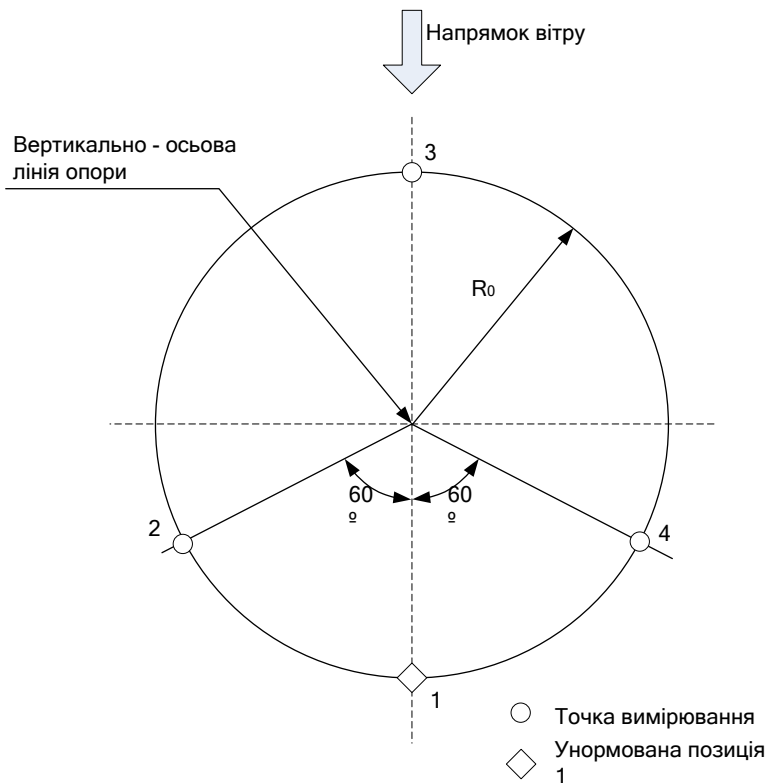


Рисунок 2.9 – Розташування мікрофона (згідно положенням стандарту) під час проведення вимірювань: вигляд зверху

На додаток до вимірювання рівня звукового тиску необхідно зареєструвати значення таких параметрів:

- швидкість вітру на висоті 10 м;
- напрямок вітру;
- температура повітря і атмосферний тиск (ці параметри вимірюють з фіксацією їхніх значень на протязі не менше двох год.);
- турбулентність вітру.

Нормативним документом [52] встановлені стандартизовані позиції для розташування мікрофонів під час акустичних вимірювань (рис. 2.9) та позиції розташування приладів для вимірювання швидкості й напрямку вітру. Так, розташування анемометра повинне забезпечувати мінімальну погрішність під час вимірювань.

Прилади, що використовуються для вимірювань, повинні бути належним чином атестовані – своєчасно пройти метрологічну перевірку у відповідні терміни (табл. 2.1).

Результати вимірювань заносять у протокол. Протокол містить такі дані: характеристики вітротурбіни, перелік вимірювальних приладів, акустичні дані, неакустичні дані, похибки вимірювань.

Рівень звукової потужності розраховується виходячи з умов вимірювання рівня звукового тиску так:

$$L_{WA} = L_{pA} + 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0} - K_0, \quad (2.17)$$

де L_{WA} – рівень звукової потужності, дБ;

L_{pA} – виміряний рівень звукового тиску, дБ;

$S = 4 \cdot \pi \cdot R_0^2$; $S_0 = 1 \text{ м}^2$.

Таблиця 2.1 – Строки метрологічної повірки приладів, що використовуються для вимірювання акустичних характеристик джерела шуму

Найменування приладу	Періодичність метрологічної повірки, місяць
Мікрофон	24
Анемометр	24
Акустичний калібратор	12
Спектральний аналізатор	36
Інтегральний генератор рівня звукового тиску	24
Системи записування та відтворення	24
Перетворювач електричної потужності	24

Рівень звукової потужності визначають за формулою:

$$L = \bar{L} + 25 \lg \frac{\rho \cdot V^2}{g \cdot 2} + 10 \lg \left\{ \left[\frac{\pi \cdot D^2}{4} (1 - e) \right] \cdot V_p \right\} + 24, \quad (2.18)$$

де \bar{L} – пороговий рівень звукової потужності, дБ;

D – діаметр ротора ВЕУ, м;

V_p – швидкість вітру, м/с;

$\rho = 2 \text{ кг/м}^3$.

Вимірювання за цією методикою не дає змоги отримати повну картину розповсюдження шуму від ВЕС, тому, що мікрофони встановлені низько біля ґрунту. Це є значним недоліком методики, оскільки висота

вежі ВЕУ може сягати 100 м і ремонтні роботи проводять не тільки на поверхні землі, а і в башті ВЕУ та гондолі.

У більшості опублікованих закордонних праць [135-138] розглядається й аналізується шумоутворення ВЕУ від лопаті. Автори проводять ряд досліджень щодо зменшення рівня цієї складової шуму за допомогою різних моделей лопаті, кута атаки.

У [135,137] наведений аналіз сил, що впливають на лопать під час роботи ВЕУ (рис. 2.10)

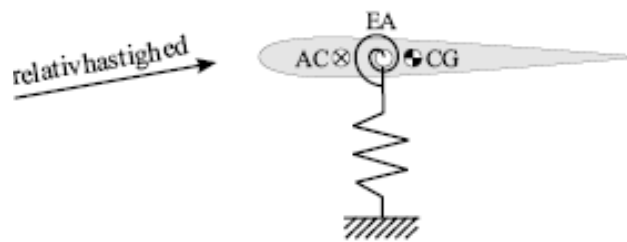


Рисунок. 2.10 – Сили, що впливають на лопать ВЕУ

Дослідження вчених Манчестерського університету [22, 51] мають більш аналітичний характер. У них розглядаються питання, пов'язані з кліматичними умовами – статистичним аналізом швидкості та напрямку вітру в місцевості, де розташовані ВЕУ (рис. 2.11 – 2.12). Так, на рисунку 2.11 подана часова характеристика, повторюваність одного з напрямків вітру за його однакової швидкості за визначений проміжок часу. Вимірювання параметрів вітру проводили в період з 17.08 по 27.11. 2001 року.

Внаслідок проведених досліджень були отримані такі результати: діапазон вимірювання швидкості вітру становив від 0 до 18 м/с; середня швидкість вітру – близько 5 м/с.

Автори Yoshinori Nii, Geoff Leventhall та ін. [144, 146, 154] провели аналіз положень міжнародного стандарту [52] та дослідження малопотужних ВЕУ. Висновки містять дані з вимірювання шумового випромінювання від ВЕУ та ВЕС і обробки отриманих результатів.

Таким чином, аналіз публікацій доводить, що в дослідженнях цих авторів не використовуються методи моделювання для опису, аналізу й дослідження процесу розповсюдження шуму від ВЕУ.

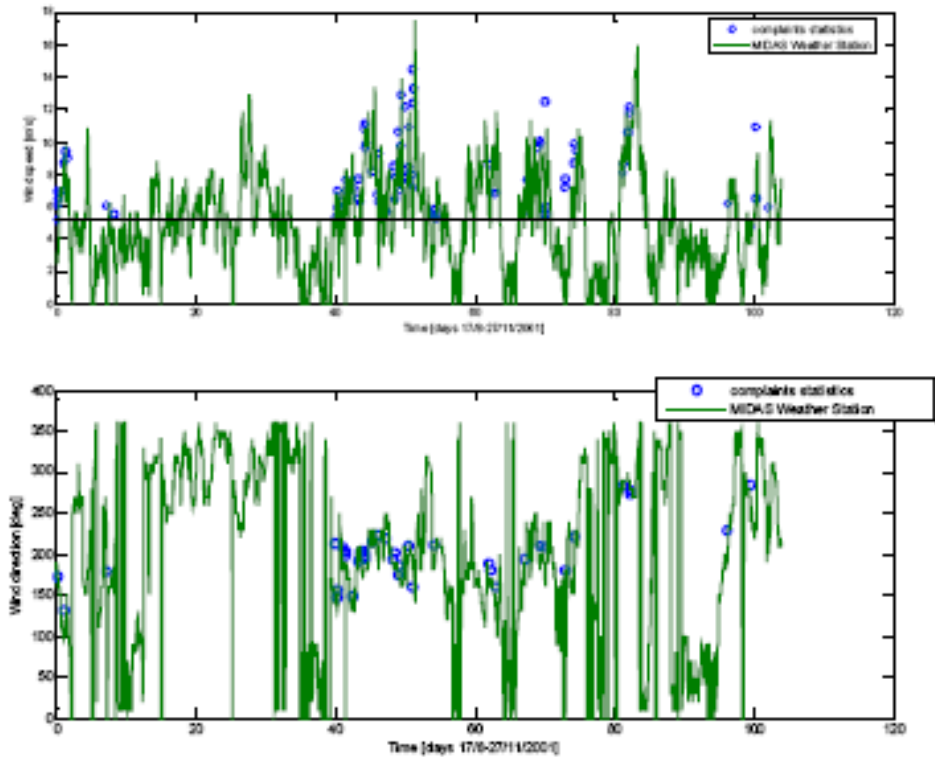


Рисунок 2.11 – Час повторюваності швидкості і напрямку вітру

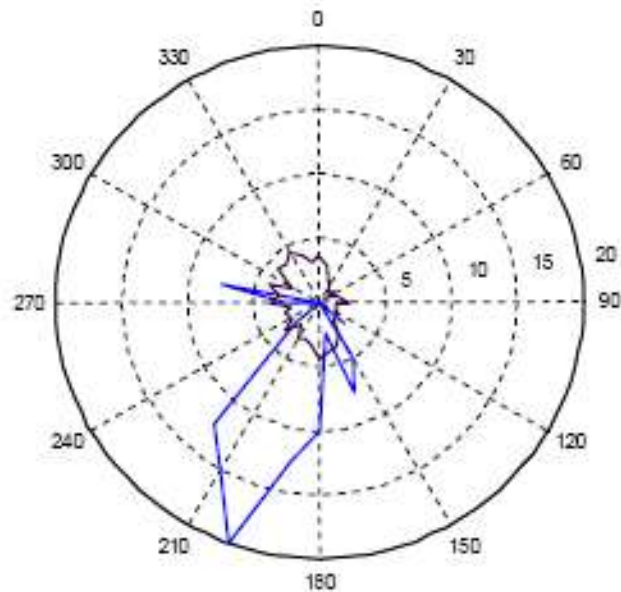


Рисунок 2.12 – Роза вітрів за напрямком вітру

Для різних видів трудової діяльності, з урахуванням напруженості праці, встановлені припустимі рівні шуму [35].

На ВЕС, згідно зі штатним розкладом, працює такий персонал: керівник дільниці, черговий інженер станції, системотехнік, технік ВЕУ, електромонтер, електрогазозварювальник, сторож-обхідник вітрополя,

водії легкового, вантажно-пасажирського та вантажного автомобіля, бухгалтер.

Всі працюючі перебувають у різних виробничих умовах, у локальних системах ЛТС, які характеризуються відповідними напруженням праці, різними негативними факторами, що діють у продовж робочої зміни.

Для визначення шумових характеристик ДШ використовують ряд стандартизованих методик.

Одна з них призначена для проведення досліджень стаціонарних машини, механізмів та іншого виробничого обладнання і регламентує методи встановлення гранично припустимих значень шумових характеристик машин (ДШ [41]). Недолік цієї стандартизованої методики полягає у тому, що вона не може бути поширена на машини конкретного виду.

Розроблені стандартизовані методики для дослідження обладнання й виробничих установок, систем ЛТС за фактором шуму на морському та річковому транспорті [53]; упроваджений достатньо універсальний технічний метод вимірювань характеристик шуму Але він не може бути використаний для вирішення визначеного завдання. Це обумовлено тим, що він не може дати повну картину формування шумових характеристик ВЕУ, оскільки спрямований на дослідження технічного обладнання розміром до 15 м [34].

Таким чином, розглянуті методики та моделі мають низку недоліків щодо визначення завдання дослідження характеристик шуму ВЕУ і ВЕС. Більшість з них націлені на визначення шумових характеристик промислових підприємств, не враховують особливостей процесу формування звуку від вітрової електростанції та вітроенергетичних установок. За своїм змістом розглянуті методики націлені на дослідження характеристик шуму від одиничного ДШ. За допомогою цих моделей, можна визначити рівень звуку в будь-якій точці звукового поля. Однак для цього необхідно виконати значний обсяг поточних розрахунків, що суттєво обмежує використання цих моделей для практичних розрахунків. На додаток, здебільшого розрахункові формули, що отримані теоретичним шляхом, найчастіше не враховують усіх головних особливостей явища поширення звуку, що суттєво знижує точність результатів дослідження.

Отже, для вирішення завдання підвищення ефективності функціонування системи ЛВЕСС, захисту працюючих, навколишнього

природного середовища необхідне розроблення такої моделі вітрової електростанції, як ДШ, яка була б достатньо простою у використанні, містила необхідні характеристики, описувала процес формування й розповсюдження звуку з необхідною точністю та вірогідністю.

2.4 Методи зниження рівня шуму як негативного фактора в системах ЛТС

Забезпечення акустичної безпеки людей, зокрема працівників, об'єктів у системах ЛТС здійснюється за трьома напрямками: у джерелі виникнення шуму, на шляху його розповсюдження та безпосередньо в об'єкті захисту від шуму.

Описані в літературі [10–12, 16–24] головні засоби шумозахисту поділяються на організаційно-адміністративні, архітектурно-планувальні та архітектурно-конструктивні. Перелік містобудівельних засобів шумозахисту наведений на рисунку 2.9. З цього переліку можна виокремити заходи, які можна використовувати для захисту від шуму вітроелектричних станцій: віддалення ВЕУ, ВЕС від об'єкта, що потребує захисту від шуму; зонування території населеного пункту за допустимим рівнем шуму, улаштування санітарно-захисних зон; використання природних і штучних шумозахисних екранів, шумозахисне озеленення; використання шумозахисних засобів у будівлях.

Вибір шумозахисних засобів та напрямків, має супроводжуватися відповідними акустичними та економічними розрахунками, необхідно врахувати будівельні умови та особливості джерела шуму. Відповідно до існуючих норм, акустичні розрахунки проводяться у дев'яти октавних смугах з середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 і 8000 Гц з точністю до 0,1 дБ*.

Ефективним засобом боротьби із зовнішнім шумом є розташування вітроелектричних станцій на безпечній відстані від міста (влаштування

* Акустичний розрахунок містить такі етапи: виявлення ДШ та визначення їхніх шумових характеристик; вибір точок, для яких проводиться розрахунок; визначення впливу елементів навколишнього середовища (екранів, лісонасаджень) на розповсюдження звуку; визначення рівнів звукового тиску в РТ; визначення допустимого рівня звукового тиску на робочих місцях у системі ЛТС чи в сільбищній зоні.

санітарно-захисної зони (СЗЗ). У містобудуванні використовують СЗЗ п'яти класів : 1 000, 500, 300, 100 та 50 м.

На рисунку 2.13 наведені систематизовані приклади застосування шумозахисних засобів на різних стадіях проектування населених пунктів та їхня орієнтовна ефективність.

СЗЗ є обов'язковим елементом промислового підприємства й інших об'єктів, які можуть бути джерелом хімічного, біологічного або фізичного негативного впливу на здоров'я людини та навколишнє середовище. Згідно зі СНіП, СЗЗ для енергетичних підприємств становить приблизно 300 м і належить до IV класу.

Застосування санітарно-захисної зони як єдиного засобу шумозахисту спричиняє до зростання капіталовкладень, відчуження землі. Окрім того, на сьогодні час відсутні дані про економічну ефективність СЗЗ як засобу шумозахисту.

Отже, узгодження акустичних та економічних показників є однією з головних завдань під час проектування СЗЗ, яке потребує спеціальних досліджень.

Існуючі рекомендації з раціонального планування промислових та промислово-сільбищних районів міста з урахуванням шуму не містять акустичного обґрунтування планувального рішення. Заходи та конструкційні засоби, які зазвичай використовують для захисту примігстральних територій населених пунктів, можна використовувати і для захисту мікрорайонів від шуму ВЕС. Але на сьогодні відсутні результати таких досліджень.

Для захисту від шуму вітроелектричних станцій можна застосовувати шумозахисні екрани, шумозахисні та шумозахищені споруди. Вирішення цього завдання дасть змогу підвищити ефективність системи ЛТС на етапі проектування шляхом зменшення ширини СЗЗ для ВЕС.

Засоби захисту		Стадії проектування					Ефективність, дБ								
		ПРП	ТЕО	ГПГ	ПДП	ПЗ	А								
		5	1	1	2	2	3	3	4	4					
		0	0	5	0	5	0	5	0	5					
Організаційно-адміністративні	Регламентация руху в часі, швидкості та видів транспорту	○	○	●	○		→								
	Організація руху			●	○	→									
	Винесення джерела шуму	●	●	●	○		→								
Архітектурно-планувальні	Зонування територій за допустимими рівнями звуку	●	●	●	●	●									→
	Раціональна система вуличної мережі		●	●			→								
	Санітарно-захисна зона	●	●	●	●	●									→
	Природні екрани	●	○	●			→								
	Раціональні прийоми забудівлі				●	●	→								
	Шумозахисні будівлі			○	●	●	→								
	Шумозахисні смуги зелених насаджень	○	○	●	●	●	→								
Архітектурно-конструктивні	Екрануючі споруди	○	○	●	●	●	→								

Рисунок 2.13 – Застосування шумозахисних засобів на різних стадіях проектування міст та їх орієнтовна ефективність:

○ – можливе застосування; ● – переважне застосування

У розглядуваному випадку використання більшості описаних вище способів захисту від шуму є недоцільним, тому що ВЕУ є окремими джерелами шуму, що розташовані на високих позначках. У зв'язку з цим, використання природних екранів, екрануючих споруд, шумозахисних будівель може забезпечити деякий ступінь захисту людей у сільбищних зонах, але не персонал ВЕС (рис. 2.14).

Захист від впливу шуму персоналу ВЕС можна забезпечити шляхом використання індивідуальних засобів захисту. Вони повинні перешкоджати проникненню шуму в слуховий аналізатор людини настільки, щоб забезпечити збереження здоров'я працюючих, передбачити появу і розвиток патологічних змін у такій системі ЛТС, навіть після багаторічної праці

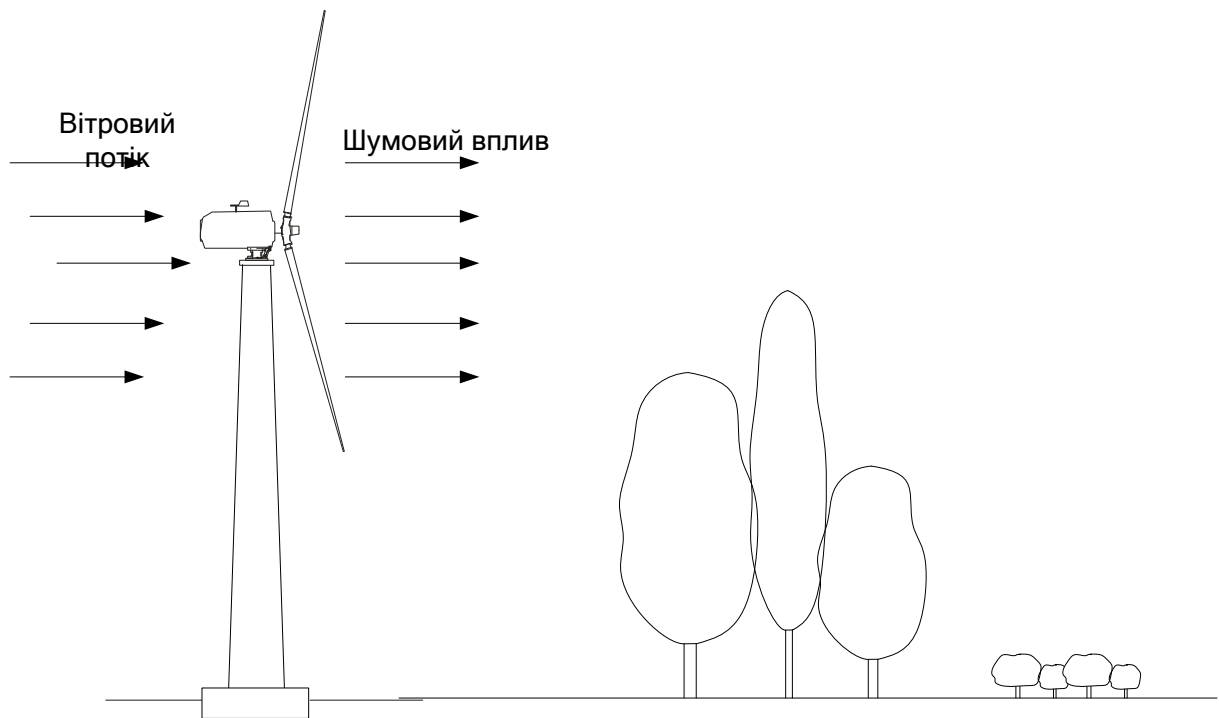


Рисунок 2.14 – Розташування ВЕУ відносно існуючих природних екранів

Індивідуальні засоби захисту поділяються на три головні типи залежно від конструкції та призначення: беруші (вкладки у вушні раковини); шумозахисні навушники; шумозахисні шлеми).

Вказані засоби знижують звуковий тиск, який діє на барабанну перетинку.

Заглушки закріплюються у вушній раковині. До цієї групи належать еластичні та пластичні заглушки, а також заглушки із вати. Еластичні

заглушки виготовляються з резини або пластмаси. Вони мають форму різних розмірів слухового проходу або таку конструкцію, яка дає змогу використовувати їх для слухового проходу різних розмірів. Ефективність еластичних заглушок в діапазоні низьких частот обмежена через їхню досить високу провідність у цьому діапазоні частот.

Варто зазначити, що індивідуальні засоби захисту органів слуху людини використовують зазвичай у обмежені інтервали часу, а також, як свідчать медичні дослідження, шум та інфразвук впливають не тільки на слуховий аналізатор, а й значно – на весь організм людини.

2.5 Негативні антропогенні фактори, що впливають на людину під час функціонування системи «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище».

2.5.1 Загальні положення. Стан виробничого травматизму в системі «Людина – Техніка – Середовище» в Україні

За статистичними даними, в Україні спостерігається зниження виробничого травматизму. Так за I квартал 2008 року, за умови постійного росту обсягів виробництва, загальний його рівень знизився на 6,8, а смертельного – на 8,5 %. Водночас рівень смертельного виробничого травматизму зріс у вугільній промисловості на 8 %, у будівництві – на 17 %, у соціально-культурній сфері – на 10 %, в енергетиці – на 19 %, на підприємствах житлово-комунального господарства – на 6 %, та на 200 % у газовій промисловості [58, 59].

Виробничий травматизм – це сукупність нещасних випадків на виробництві. Він є наслідком впливу на організм людини небезпечних виробничих факторів, що є в системі ЛТС.

Травматизм можливий у разі ураження електричним струмом (опіки, електричні удари тощо.); впливу високої або низької температури (опіки чи обмороження); падіння з висоти; поєднання різних факторів.

Розрізняють такі причини виробничого травматизму: технічні, санітарно-гігієнічні, організаційні, психофізичні.

До технічних причин належать такі: конструкторські недоліки, несправність машин, механізмів, недосконалість технологічного процесу, недостатня механізація та автоматизація тяжких та шкідливих робіт.

Санітарно-гігієнічні причини пов'язані з порушенням санітарних норм (за температурою, вологістю повітря), відсутністю санітарно-побутових приміщень, недоліками в організації робочого місця.

Організаційні причини полягають у порушенні правил безпеки праці, експлуатації обладнання й транспорту, несвоєчасному проведенні інструктажів, режимі праці й відпочинку (понаднормові роботи, простої), відсутності попереджувальних надписів тощо.

Психофізичні причини пов'язані з перевтомою під час виконання напруженої роботи, порушенням робітниками трудової дисципліни, знаходженням на робочому місці в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння, навмисному самотравмуванні, зі станом здоров'я.

Професійне захворювання – це ушкодження здоров'я робітника внаслідок постійного чи тривалого впливу на організм шкідливих умов праці. Розрізняють гострі та хронічні професійні захворювання. Гострі профзахворювання виникають раптово (у продовж одного робочого дня чи зміни) через вплив шкідливих виробничих факторів з великим перевищенням гранично допустимого рівня. Хронічні профзахворювання розвиваються після багаторазового та тривалого впливу шкідливих виробничих факторів.

З наведених вище статистичних даних зрозуміло, що найбільший рівень смертельного виробничого травматизму спостерігається в енергетиці. Енергетична галузь використовує: електричні станції (АЕС, ТЕС, ГЕС, ВЕС), підстанції, розподільчі пункти, магістральні та кабельні лінії електропередач тощо. Розглянемо більш детально можливі випадки виробничого травматизму та професійних захворювань персоналу вітрової електростанції, тобто системи ЛВЕСС.

Виробничий травматизм в системі ЛВЕСС відбувається внаслідок впливу негативних фізичних факторів, до яких належать: метеорологічні умови; небезпека роботи на висоті; недостатня освітленість робочої зони; підвищена напруга в електричному колі; підвищений рівень електромагнітних полів, шуму, інфразвукових коливань.

Обслуговуючий персонал ВЕС перебуває на відкритому просторі під впливом метеорологічних умов, які визначаються сукупністю таких параметрів: температурою, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, атмосферним тиском, інтенсивністю теплового випромінювання.

Першопричиною нещасних випадків під час роботи на висоті є фактор висоти [60], коли створюється сукупність супроводжуючих причин, які стають причиною до падіння людини з висоти. Так, під час роботи на висоті у персоналу спостерігається підвищення частоти серцевих скорочень до 90–95 ударів за хвилину, яка через 3–4 хвилини стабілізується на рівні 85–87 ударів, залежно від індивідуальних особливостей організму. Варто зазначити, що у разі підняття на висоту 14 м частота серцевих скорочень збільшується на 7–8 %, а на висоті 16–17 м – ще на 7–8 %. Тобто, із підняття на більшу висоту посилюється вплив фактора висоти на організм людини. Це спричиняє страх, а в деяких випадках, особливо у молодих спеціалістів, – нервозність і сумніви щодо правильності виконання роботи. Це може бути причиною низької якості виконання роботи і навіть падіння з висоти.

Оцінюючи всі обставини, можна виділити такі головні причини нещасних випадків під час роботи на висоті: порушення правил безпеки праці; нервово-емоційне навантаження під впливом висоти на робітника; технічна й технологічна особливість робочого місця; підвищений рівень шуму генератора; електромагнітне випромінювання; психологічна та професійна невідповідність працюючого до роботи на висоті; конфліктні ситуації у колективі.

Під час проведення ремонтних робіт усередині вежі чи гондоли вітроенергетичної установки шкідливими факторами є недостатня освітленість робочої зони (відсутнє природне освітлення) та наявність електромагнітного поля.

У теплий період року підвищена температура повітря під час проведення ремонтних робіт усередині вежі чи гондоли ВЕУ може спричиняє підвищення температури тіла, тепловий удар. Підвищення температури тіла спричиняє інтенсивне зневоднення організму, втрату мінеральних речовин і водорозчинних вітамінів. Це впливає на роботу шлункової секреції, викликає вітамінний дефіцит, може бути причиною збільшення частоти серцевих скорочень, зниження артеріального тиску.

Низький рівень температури повітря стає причиною охолодження та переохолодження, що, в свою чергу, може викликати невралгію, застуду, обмороження нижніх чи верхніх кінцівок.

Через те що вітроенергетичні установки знаходяться на відкритому просторі, всередині та на поверхні ВЕУ знаходиться пил органічного

походження. Внаслідок взаємодії часток пилу з електрообладнанням вони стають електростатично зарядженими. Пил може бути носієм мікробів та грибків, що може спричинити захворювання верхніх дихальних шляхів, легенів та шкіри.

Підвищена напруга в електричному колі може викликати ураження працюючого електричним струмом. Вплив електричного струму на організм людини може стати причиною появи електричних травм: електричних знаків, металізації шкіри, механічних ушкоджень, електрофтальмії тощо.

Негативна дія підвищеного рівня шуму на працюючого має такі аспекти:

- *медичний*: пов'язаний з тим, що підвищений рівень шуму впливає на нервову і серцево-судинну системи, репродуктивну функцію людини; викликає роздратування, порушення сну, стомлюваність, агресивність, сприяє психічним захворюванням, що може спричинити до професійні захворювання;

- *соціальний*: пов'язаний з тим, що під дією шуму, рівень якого перевищує допустимі значення, знаходиться значна група населення. За статистичними даними понад 60 % населення великих міст проживає під дією підвищеного рівня шуму, який викликає в організмі людей відповідні негативні реакції;

- *економічний*: обумовлений впливом підвищеного рівня шуму на продуктивність праці. Ліквідація наслідків професійних хвороб, які виникають внаслідок дії шуму, вимагає значних соціальних виплат. Збільшення рівня шуму на 1–2 дБА спричиняє до зниження продуктивності праці на 1% (при рівнях звуку більше 80 дБА).

Варто також зазначити, що працівники вітрової електростанції впродовж робочого дня знаходяться під впливом небезпечних факторів, які діють в комплексі, що зазвичай підсилює дію кожного з них.

Таким чином, рівень виробничого травматизму та професійних захворювань залишається суттєвою причиною втрати працездатності. Розглянуті можливі причини виробничого травматизму та профзахворювань на ВЕС свідчить про недостатню досконалість організації роботи системи ЛТС, служб охорони праці.

Висновки

Проведений аналіз літературних джерел дозволяє зробити наступні висновки:

1. В існуючій системі джерел шуму вітроелектричні станції та вітроенергетичні установки входять до складу групи електричних станцій, які, в свою чергу, належать до промислових підприємств. Вітроелектричні станції характеризуються потужністю, конфігурацією, кількістю вітроенергетичних установок, розмірами вітрополя, рівнем шуму, який розміщується в діапазоні 67–105 дБА.

2. Опубліковані результати досліджень шумових характеристик ВЕУ можуть бути прийняті як вихідні дані для виконання необхідних акустичних розрахунків.

3. Існуючі методи прогнозування та оцінки шумового режиму скеровані на дослідження промислових підприємств і транспорту. У зв'язку з цим необхідно розробити нову математичну модель, яка б дала змогу вирішувати завдання розрахунку та прогнозування рівня шуму в необхідних точках і графічного зображення звукового поля з метою підвищення ефективності функціонування системи «Людина – Вітроенергетична станція – Середовище» за фактором шуму.

4. Стан досліджень в галузі графоаналітичних методів і фізичного моделювання процесу розповсюдження шуму на відкритій місцевості є основою як для експериментальної перевірки правомірності теоретичних моделей, так і для розроблення експресного методу розрахунку й оцінки шумового режиму на території вітрового поля і в сельбищній зоні у разі по-різному розташованих вітроенергетичних установок.

5. Існуюча методика забезпечення акустичного комфорту вітроенергетичних установок має фрагментарний характер і потребує більш детального містобудівельного, соціального, економічного та акустичного обґрунтування.

Таким чином, положення існуючих методів дослідження і розрахунків шумового режиму не можуть бути використані для вирішення визначеного завдання. Це впливає з того, що вони не враховують умов утворення шумового поля від вітроенергетичної установки, не дають змоги описати процес утворення шуму від вітроенергетичних установок.

Узагальнення висновків, отриманих внаслідок проведеного аналізу літературних джерел, визначає завдання дослідити та проаналізувати умови праці персоналу вітроелектричної станції, розробити методику оптимального розташування вітроелектричних установок ВЕС та методику розрахунку санітарно-захисної зони для ВЕС.

Розділ 3 АНАЛІЗ НЕГАТИВНИХ ФАКТОРІВ У СИСТЕМІ «ЛЮДИНА – ВІТРОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ – СЕРЕДОВИЩЕ»

Система «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище» функціонує за наявності ряду антропогенних факторів, що негативно впливають на рівень її ефективності. Для вирішення поставленого завдання підвищення ефективності функціонування системи ЛВЕСС, були частково використані дані вимірювань рівнів негативних виробничих факторів, що діють на персонал ВЕС, отримані фахівцями НДІ гігієни праці та профзахворювань Харківського національного медичного університету (ХНМУ). Ці дослідження були проведені на Донузлавській вітроелектричній станції (м. Євпаторія) з метою атестації робочих місць.

До Донузлавської ВЕС входять Донузлавська й Судакська ділянки. На Донузлавській ділянці ВЕС були атестовані такі спеціальності: черговий інженер станції, електромонтер, технік вітроелектричної установки (ВЕУ), електрогазозварювальник. На Судакській ділянці сторож-обхідник вітрополя, технік ВЕУ, черговий інженер станції, начальник ділянки, водій легкового автомобіля. У центральному офісі ВЕС працюють водії вантажівки й автомобіля УАЗ, системотехнік, бухгалтер, який працює за ПК. З метою атестації робочих місць вимірювалися рівні шуму та вібрації, параметри повітря робочої зони, напруженість електромагнітного поля, важкість та напруженість праці.

Розглянемо конкретні виробничі фактори, що впливають на працюючих у системі ЛВЕСС Донузлавської та Судакської ділянки ВЕС.

3.1 Аналіз негативних факторів у системі «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище» на Донузлавській ділянці ВЕС

Черговий інженер станції забезпечує контроль і керування процесом виробництва електричної енергії ВЕС та передачі її в енергосистему України, споживачам за прямими договорами. До його функцій належать: забезпечення безперервної роботи ВЕС, спостереження за роботою ВЕУ за допомогою ПК, облік документації з технічного обслуговування та ремонту вітротурбін і ВЕУ. Він також веде облік і звітування з кількості електроенергії, що вироблена за годину, добу, місяць, рік. Черговий

інженер станції забезпечує своєчасне визначення й організовує ліквідацію несправностей ВЕУ, приймає рішення про їх запуск чи виведення в ремонт, контролює та відповідає за роботу ВЕУ. Робота чергового інженера станції виконується за такими змінами: І – з 8.00 – 20.00 год, ІІ – з 20.00 – 8.00 год. Після закінчення зміни – 48 год відпочинку.

Черговий інженер станції на Донузлавській дільниці працює з періодично працюючим принтером Epson LG-750. Його характеристики за шумом такі: шум за спектром – широкосмуговий; рівень звуку перевищує допустиме значення на 11 дБА, з перевищенням еквівалентного рівня шуму на 9 дБА. За спектром перевищення складають величини 9...12 дБ (рис. 3.1).

Температура повітря на робочому місці чергового інженера ВЕС нижче на 2,8 °С від норми; відносна вологість, швидкість руху повітря упродовж зміни знаходяться в межах нормативних значень (ДСанПіН 3.3.2.007-98, п. 3.1, С. 11, дод. 2 і ДСН 3.3.6.042.99, п. 1.1, С. 7–8).

Гігієнічна оцінка факторів виробничого середовища та трудового процесу в системі «Черговий інженер станції – ВЕС – Середовище» виявила таке:

- рівень шуму за звуковим тиском у системі становить 59 дБА (перевищує нормативне значення на 9 дБА);

- важкість праці: робоча поза – перебування у нахиленому положенні до 30° становить 45 % від часу зміни (нормативне значення – 25 % часу зміни).

- напруженість праці: тривалість зосередженості уваги (% до тривалості зміни) – 85 % за норми 51–75 %; щільність сигналів становить 345 одиниць за норми 176 – 300.

- переходи, що пов'язані з виробничою необхідністю, не перевищують 10 км за зміну.

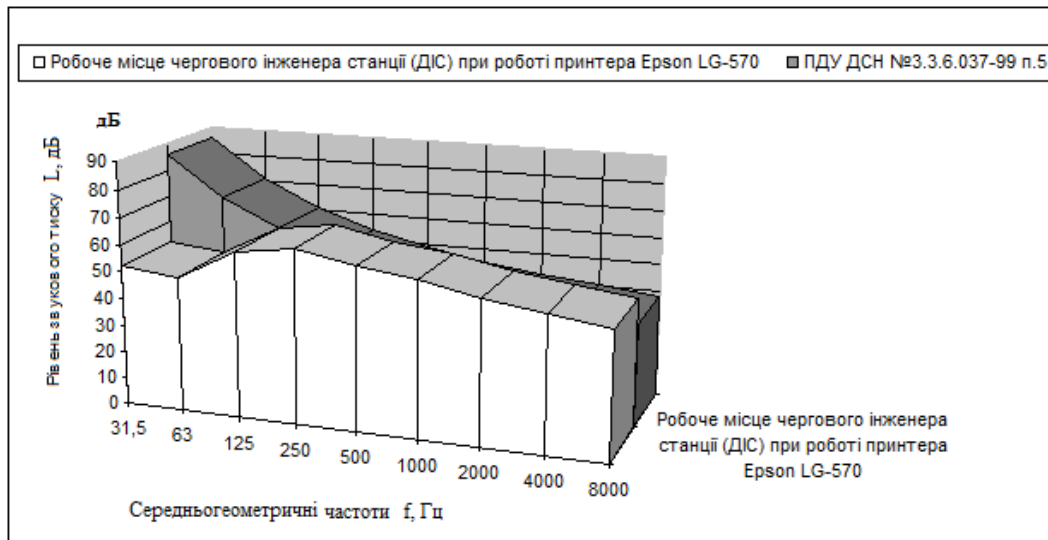


Рисунок 3.1 – Умови праці чергового інженера за фактором шуму в системі ЛВЕСС на Донузлавській ділянці

Отже, під час роботи чергового інженера в системі ЛВЕСС відбувається напруження таких аналізаторів організму:

- зорового (категорія зорових робіт згідно з ДБН В.2.5-28-2006 – високоточна);
- слухового (під час роботи принтера є завищений рівень звукового тиску; сприйнятливість мови чи диференціальних сигналів за нормативного значення 70–90 дБ становить 68 дБ);
- психофізичного (емоційне та інтелектуальне напруження: вирішення складних завдань за умови обмеженого часу; відповідальність за безпеку підлеглих осіб).

Електромонтер проводить ремонтні роботи та технічне обслуговування комплектної трансформаторної підстанції; виконує роботи на висоті до 18 м. Всі роботи проводять у першу зміну.

У системі ЛВЕСС на електромонтера впливають такі негативні фактори: шум широкосмуговий, рівень шуму за спектром (становить 34– 62 дБ (рис. 3.2); інфразвук, рівень якого дорівнює 105 дБ (загальний рівень звукового тиску дорівнює 106 дБ (рис 3.3).

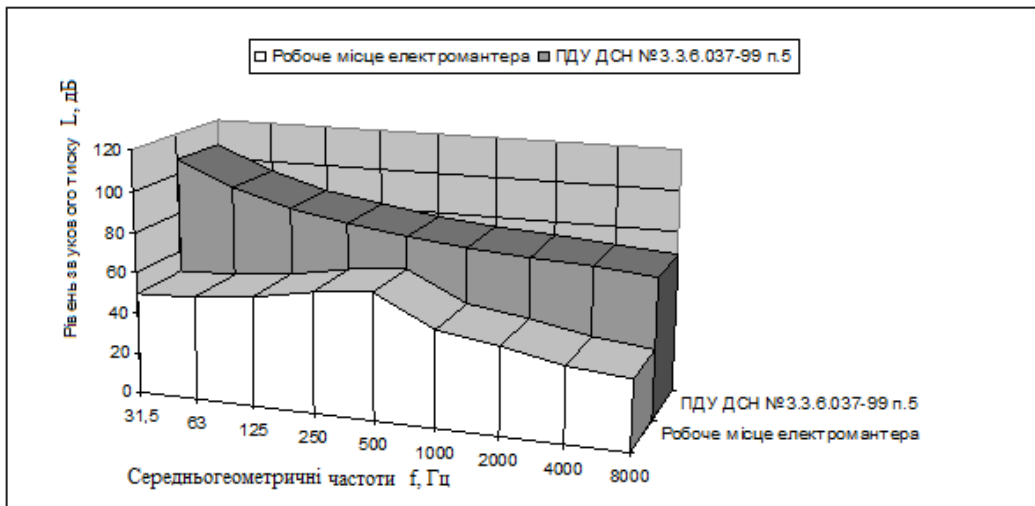


Рисунок 3.2 – Умови праці електромонтера в системі ЛВЕСС на Донузлавській ділянці за фактором шуму

Через те, що електромонтер виконує роботу в системі ЛВЕСС, здебільшого на відкритому повітрі, для оцінки впливу цього фактора необхідно визначити діапазон температур повітря. Середня максимальна температура для м. Євпаторія у холодний період року становить $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, в теплий період – $+28,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (СНіП 2.01.01.82. Будівельна кліматологія та геофізика).

Фактор важкості праці, що діє на електромонтера, – динамічна робота: потужність зовнішньої роботи (Вт) під час праці з переважно за участю плечового поясу. Вимірне значення – 50 Вт. Нормативне значення для чоловіків становить 45 Вт.

Технік ВЕУ виконує роботи на висоті до 20 м. Він ремонтує пошкоджені пристрої, механізми та лопаті ВЕУ. Роботи проводяться у першу зміну.

Під час виконання робіт в системі ЛВЕСС технік ВЕУ перебуває під впливом таких головних факторів, як шум, інфразвук, електромагнітне поле. Шум, що діє на техніка ВЕУ на його робочому місці, за характеристиками – широкосмуговий, його рівень за спектром становить 32–56 дБ; рівень звуку – 52 дБА; еквівалентний рівень звуку – $52\text{ дБА}_{\text{екв}}$. Результати вимірювань подані у графічному вигляді на рисунках 3.4 – 3.5.

Технік ВЕУ більше 90 % робочого часу знаходиться на відкритій території. Дані середніх максимальних температур у холодний і теплий періоди року для м. Євпаторія наведені вище.

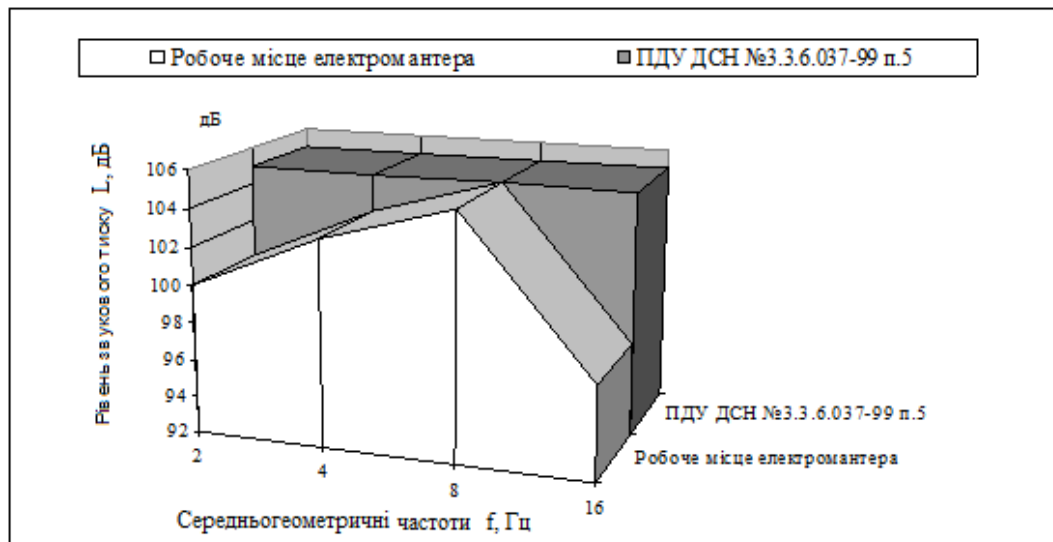


Рисунок 3.3 – Умови праці електромонтера в системі ЛВЕСС на Донузлавській дільниці за фактором інфразвуку

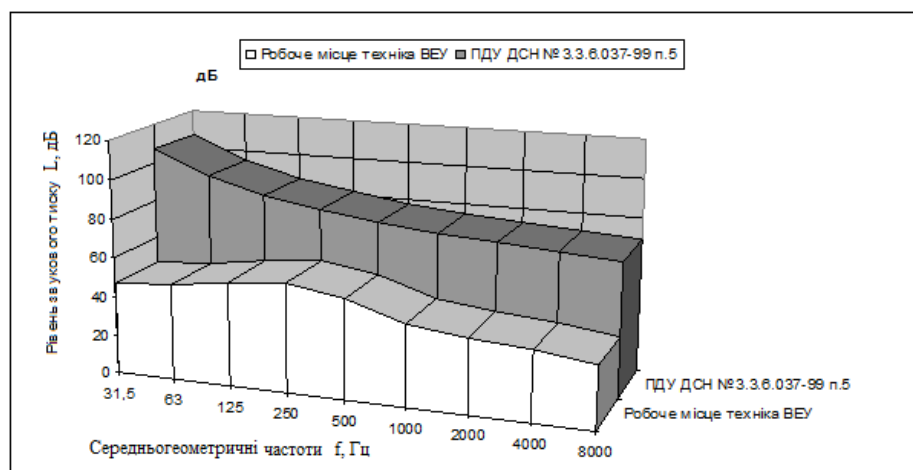


Рисунок 3.4. – Умови праці технік ВЕУ в системі ЛВЕСС на Донузлавській дільниці за фактором шуму

За гігієнічною оцінкою факторів виробничого середовища та трудового процесу для технік ВЕУ встановлено такі вимоги:

важкість праці: потужність динамічної роботи за участю м'язів кінцівок і тулуба становить 132,4 Вт (нормативне значення – 90 Вт); м'язів плечового поясу та рук – 75,2 Вт (нормативне значення – 45 Вт). Підйом та перенесення вантажів постійно, у продовж всієї зміни – 17 кг (нормативне значення 15 кг).

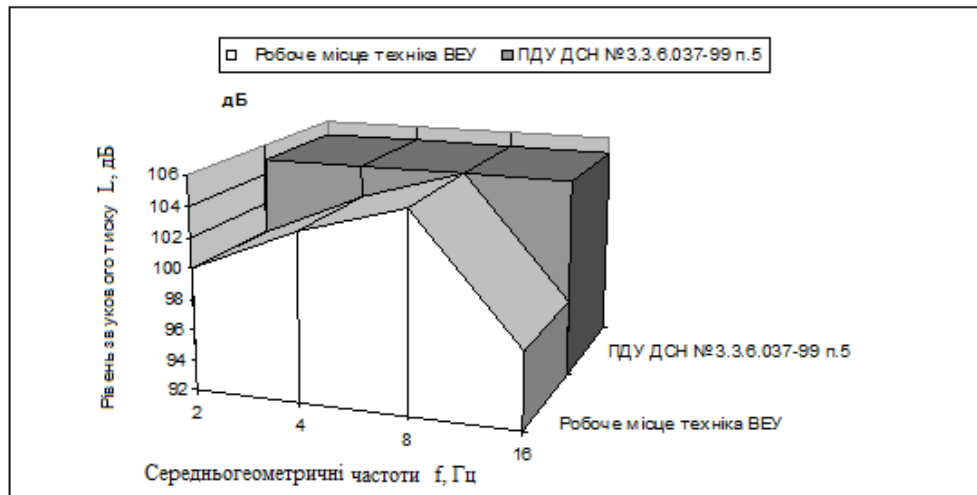


Рисунок 3.5 – Умови праці техника ВЕУ в системі ЛВЕСС на Донузлавській дільниці за фактором інфразвуку

Статистичне навантаження, що діє на техника ВЕУ за зміну для однієї руки 44 400 кг с (нормативне значення – 43 000 кг с за зміну), для обох рук 99 000 кг с (нормативне значення 97 000 кг с за зміну).

Перебування у нахилому положенні до 30° становить 26 % часу зміни (нормативне значення – 25 %). Нахилення тулуба більше ніж на 30 ° – 185 за зміну (нормативне значення – до 100).

Електрогазозварювальник. У процесі роботи в системі ЛВЕСС використовується електро- та газозварювальна апаратура. Електрогазозварювальник проводить підготовку об'єкта під зварювання та зачистку швів після зварювання. Важкість його праці характеризується такими показниками: кількість нахилів тулуба становить 120–140 за зміну (за норми 50–100); перебування у нахилому положенні до 30 ° становить 35 % часу зміни (за нормативного значення 25 %).

На робочому місці електрогазозварювальника вимірювання за фактором шуму мали такі значення (рис. 3.6): рівень звукового тиску за спектром – 73–87 дБ (перевищення гранично допустимих значень становить від 1 до 9 дБ); еквівалентний рівень шуму – 83 дБА (перевищення становить 3 дБА); рівень звуку – 86 дБА (перевищення на 6 дБА).

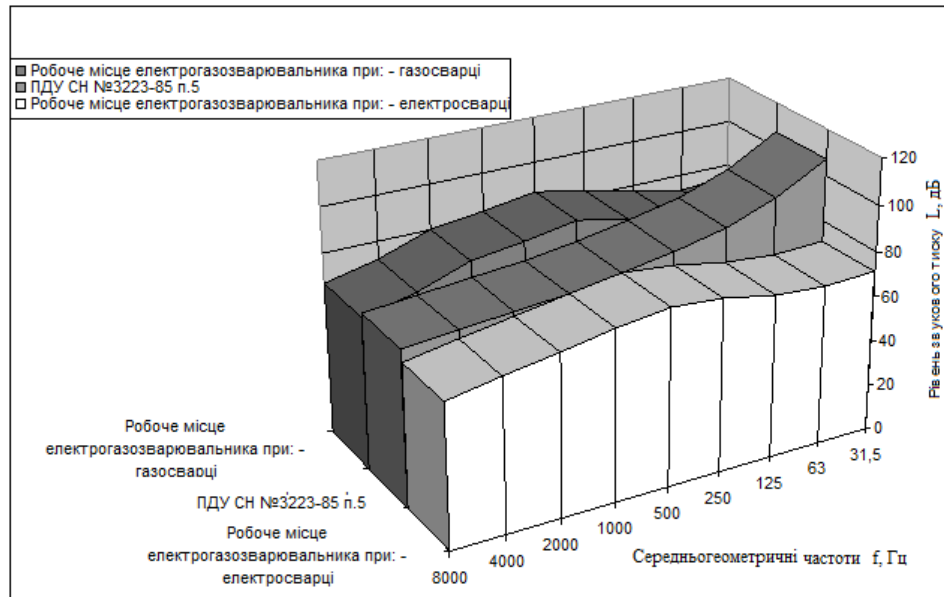


Рисунок 3.6 – Умови праці електрогазозварювальника в системі ЛВЕСС на Донузлавській ділянці за фактором шуму

Статистичне навантаження електрогазозварювальника на одну руку за зміну під час утримування зварювального апарату становить 43 200 кгс (за норми 18 001–43 000 кгс)*.

Потужність динамічної роботи за участю переважно м'язів плечового поясу та рук складає 43,9 Вт, що відповідає допустимим нормам.

Разовий підйом середнього вантажу становить вагу не більше 20 кг.

Переходи, обумовлені виробничою необхідністю, не перевищують двох кілометрів за зміну.

Виконаємо розрахунок показників динамічної роботи за формулами:

$$N = \frac{A}{T}, \quad (3.1)$$

$$A = 9,8 \cdot \left(PH + \frac{PL}{g} + \frac{PH_1}{2} \right) \cdot 6; \quad (3.2)$$

де: N – потужність роботи, Вт;

A – робота, Дж;

T – час виконання роботи, с;

P – маса вантажу, кг;

g – прискорення, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

H – висота підйому вантажу, м;

H_1 – висота опущення вантажу, м;

L – відстань переміщення вантажу, м.

$$A = 9,8 \cdot \left(8,2 \cdot 1,2 + \frac{8,2 \cdot 8}{9,8} + \frac{8 \cdot 0,7}{2} \right) \cdot 6 = 1140,9, \quad N = \frac{1140,9}{26} = 43,9 \text{ Вт}.$$

* Розрахунок: 4кг (прикладені зусилля електрогазозварювальника під час утримування електродотримача зварювального апарата) · 10 800 с (середній час утримування) = 43 200 кгс.

Напруженість праці електрогазозварювальника характеризується підвищеною увагою під час контролю якості зварювального шва. Для розглядуваного випадку тривалість зосередженого спостереження становить 80 % часу зміни (за нормативних значень 51–75 %).

Напруженість зорового аналізатора електрогазозварювальника не перевищує допустимих норм, тому що величина об'єкта мінімального розрізнення (ширина зварювального шва) складає 5–7 мм.

Напруженість слухового аналізатора складає 39 %, оскільки рівень шуму при електро- газозварюванні становить 80 дБА.

Головним джерелом звукових сигналів під час електрозварювання є працюючий зварювальний апарат. Кількість таких сигналів упродовж часу складає 135–140.

Емоційне та інтелектуальне навантаження характеризується підвищеним ступенем відповідальності за якість виконаної роботи, наявністю ризику під час виконання робіт на висоті (до 18 м).

Монотонність праці характеризується кількістю прийомів, необхідних під зварювання. Цей показник становить 4 – 3 прийоми.

Запиленість робочої зони. На робочому місці електрогазозварювальника зафіксовано наявність пилу оксиду заліза, концентрація якого перевищує ГДК у 1,77 рази ($\text{ГДК} = 6 \text{ мг/м}^3$). Наявність у пилові від 2 до 10 % кремнію діоксиду кристалічного перевищує ГДК у 1,46 рази ($\text{ГДК} = 4 \text{ мг/м}^3$).

Робота електрогазозварювальника проводиться в I зміну з 8.00 до 17.00 год перерва з 12.00 до 13.00.

3.2 Аналіз негативних факторів у системі «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище» на Судакській ділянці ВЕС

Сторож-обхідник вітрополя виконує в системі ЛВЕСС функції охорони ВЕУ, а також під час обходу візуально контролює їхню роботу.

На сторожа-обхідника вітрополя впливає шум, рівень якого за спектром коливається від 50 до 62 дБ, еквівалентний рівень шуму дорівнює 57 дБА_{екв} (рис. 3.7). На рис. 2.8 подано рівні інфразвуку, де рівень звукового тиску за спектром становить 97–105 дБ (рис. 3.8), а загальний рівень звукового тиску – 106 дБ.

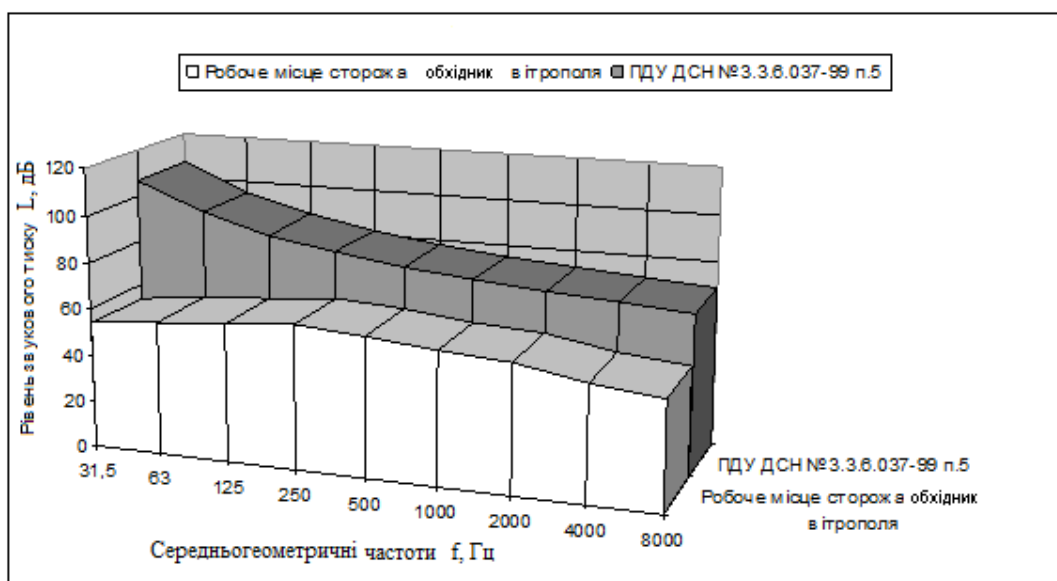


Рисунок 3.7 – Умови праці сторожа–обхідника вітрополя в системі ЛВЕСС на Судакській ділянці ВЕС за фактором шуму

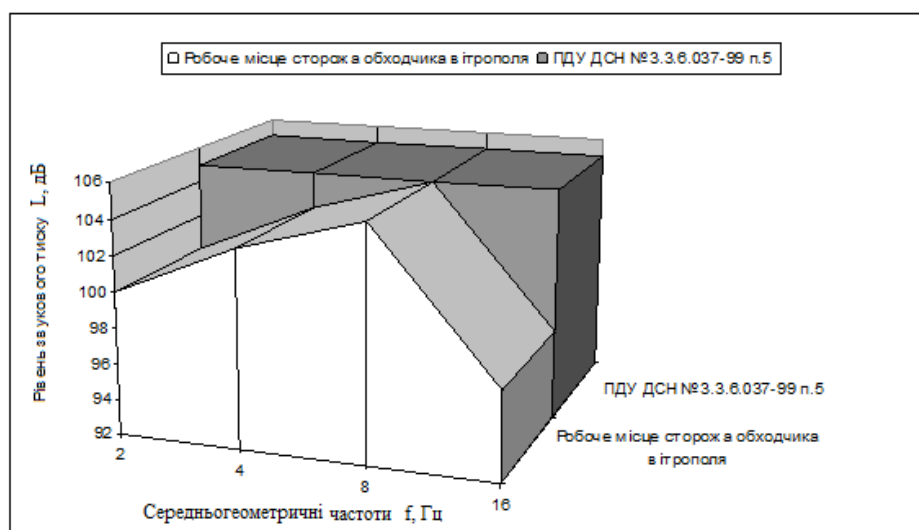


Рисунок 3.8 – Умови праці сторожа–обхідника вітрополя в системі ЛВЕСС на Судакській ділянці ВЕС за фактором інфразвуку

Важкість праці сторожа-обхідника вітрополя характеризується довжиною переходів з виробничої необхідності. Визначена величина цього показника становить до 10 км за зміну.

Технік ВЕУ на Судакській ділянці ВЕС в системі ЛВЕСС виконує таку ж роботу, що й технік ВЕУ на Донузлавській ділянці.

Результати вимірювань рівнів шуму та інфразвуку подані у графічному вигляді на рисунках 3.9 – 3.10. Рівень шуму за спектром

становить 32 – 56 дБ, рівень звуку – 52 дБА, а еквівалентний рівень звуку – 52 дБА_{екв}.

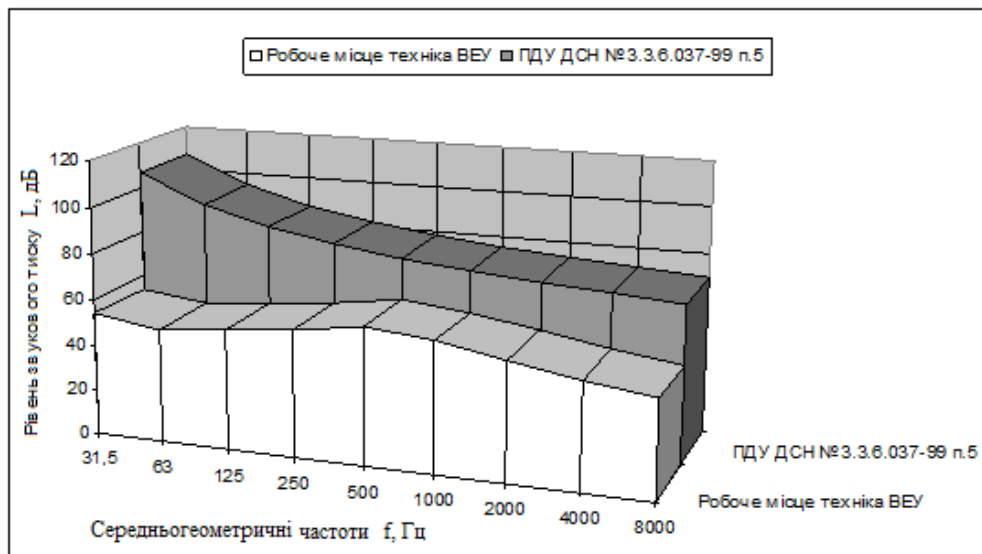


Рисунок 3.9 – Умови праці техніка ВЕУ в системі ЛВЕСС на Судакській ділянці ВЕС за фактором шуму

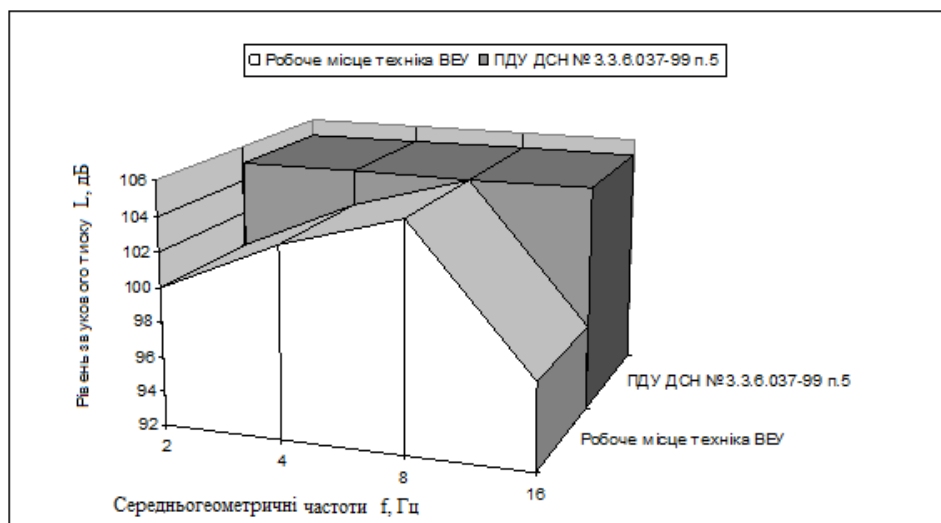


Рисунок 3.10 – Умови праці техніка ВЕУ в системі ЛВЕСС на Судакській ділянці ВЕС за фактором інфразвуку

Черговий інженер станції на Судакській ділянці ВЕС в системі ЛВЕСС виконує таку ж роботу, що й інженер Донузлавської ділянці. Його умови праці практично аналогічні встановленим за попередніх досліджень.

Дані вимірювань рівнів шуму та інфразвуку подані у графічному вигляді на рисунку 3.11. Аналіз результатів свідчить, що рівень звуку

перевищує допустиме значення на 10 дБА з перевищенням еквівалентного рівня шуму на 8 дБА_{екв}. За спектром перевищення складає 2 – 8 дБ.

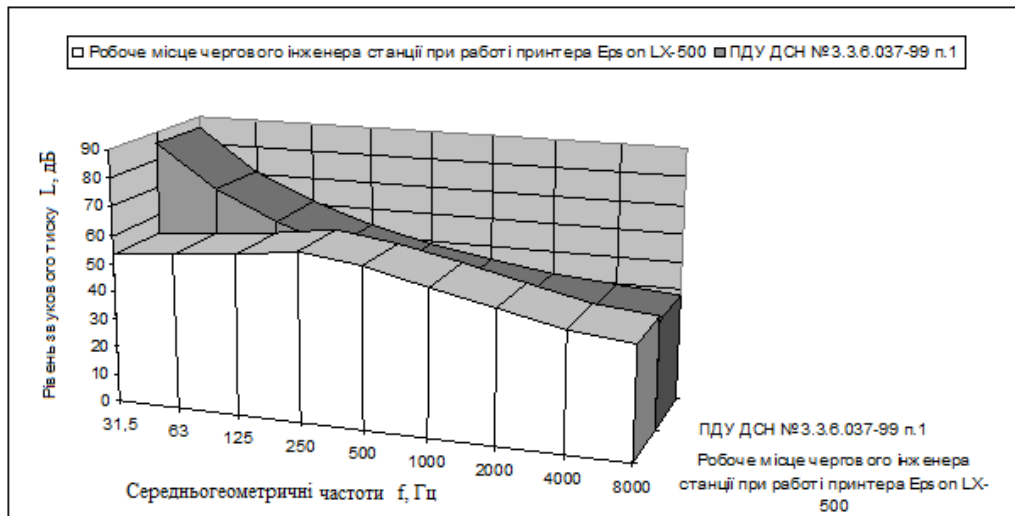


Рисунок 3.11 – Умови праці чергового інженера ВЕУ в системі ЛВЕСС на Судакській ділянці ВЕС за фактором шуму

Була також проведена гігієнічна оцінка факторів виробничого середовища та трудового процесу яка засвідчила таке:

– важкість праці робоча поза – перебування у нахиленому положенні до 30 ° становить 45 % часу зміни (нормативне значення 25 %).

– напруженість праці така: увага – тривалість зосередженості уваги – 85 % (за норми 51–75); щільність сигналів – 345 (за норми 176–300).

Під час роботи чергового інженера станції на Донузлавській ділянці ВЕС реєструється напруження функцій аналізаторів організму, яке вказане вище.

Начальник ділянки Судакської ділянки ВЕС в системі ЛВЕСС проводить спостереження за роботою ВЕУ за допомогою ПК, обліковує документації з технічного обслуговування та ремонту ВЕУ, складає звіт про вироблену електроенергію, контролює та відповідає за роботу ділянки.

Під час роботи перевищень рівня звукового тиску не зафіксовано.

До структури Донузлавської ВЕС належить і центральний офіс, у якому працюють системотехнік, який забезпечує наявність, коректування програмного забезпечення в плановому відділі, бухгалтерії, маркетинговій службі; бухгалтер, який здійснює обробку та облік бухгалтерської документації; водії легкових і пасажирських автомобілів.

Центральний офіс розташований за межами ВЕС, тому умови праці співробітників офісу, які перебувають в системі ЛТС, не характеризуються підвищеним рівнем шуму, що генерується вітроенергетичними установками. У зв'язку з цим дані дослідження умов праці цієї категорії працюючих в системі ЛВЕСС не наводяться.

Висновки

Проведені дослідження умов функціонування системи «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище» на Донузлавській та Судакській ділянках ВЕС доводять, що в системі «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище» наявна низка ряд негативних факторів, що спричиняють зниження ефективності її функціонування.

У системі «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище» на людину як елемент системи впливають такі негативні фактори, як підвищений рівень шуму, інфразвуку, підвищена напруженість праці, параметри мікроклімату.

Негативними факторами, що є обов'язковими під час функціонування системи «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище», є підвищений рівень шуму звукових частот і інфразвуку. Ці фактори негативно впливають на характеристики системи не тільки в умовах виробництва та підприємстві, а й під час дослідження системи ЛВЕСС відносно компоненту «Середовище» в таких його значеннях, як «прилегла сельбищна зона» та «природне навколишнє середовище».

Виявлений перелік і рівні негативних факторів у системі «Людина – Вітроелектрична станція – Середовище» фактично є обґрунтуванням актуальності проведення досліджень для розроблення відповідних заходів і засобів, необхідних для підвищення ефективності функціонування розглядуваної системи.

Наведені результати досліджень можуть бути застосовані щодо інших вітроелектричних станцій.

Важливість і актуальність проведених досліджень підтверджується також активізацією розвитку вітроенергетики в Україні і зарубіжних країнах.

Розділ 4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ШУМОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІТРОЕНЕГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК У СИСТЕМІ «ЛЮДИНА – ВЕУ – СЕРЕДОВИЩЕ»

Моделювання – це дослідження реально існуючих об'єктів, явищ на їхніх образах. Підхід до дослідження явища чи об'єкта методом моделювання полягає у формуванні, формалізації його закономірностей, що ґрунтуються на досвіді та інтуїції, абстрактних, логічних уявленнях.

Таким чином, модель в широкому значенні є образом об'єкта чи явища, що є оригіналом, або їхньої системи. Існують такі методи моделювання:

- а) фізичне – експериментальне дослідження [61];
- б) математичне;
- в) імітаційне.

Фізичне моделювання здійснюється шляхом відтворення процесу, що досліджується, на моделі, яка має відмінну від оригінала природу та однаковий математичний опис процесу функціонування.

Математичне моделювання полягає в розробленій сукупності математичних співвідношень, які описують з тим або іншим ступенем точності процес функціонування явища, чи об'єкта. Формалізована математична модель відображає лише найбільш суттєві сторони, закономірності існування досліджуваного явища або об'єкта. Математична модель зазвичай містить опис множини можливих станів системи, закону, відповідно до якого система переходить з одного стану в інший, і задає макрофункцію системи – залежність вихідного сигналу (відгуку системи) від стану системи та вхідних впливів.

Вимога адекватності (правильності якісного опису об'єкта за обраними характеристиками) є однією з найважливіших під час побудови моделі [62, 63].

Для побудови математичної моделі процесу розповсюдження звукової хвилі від ВЕУ застосуємо відомий підхід до опису складних систем, що використовуються в математичному моделюванні, – блочно-ієрархічний метод.

Суть цього методу полягає в тому, що процес і об'єкт моделювання поділяються на ієрархічні рівні.

Для реалізації цього метода під час математичного моделювання шумового випромінювання в системі ЛВЕУС від вітроенергетичних установок зобразимо об'єкт моделювання у вигляді такої блок-схеми (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Блок-схема об'єкта математичного моделювання

Блок «Рівняння хвилі» містить рівняння хвилі, особливості поширення звукової хвилі в повітряному середовищі, опис і особливості явищ, що спостерігаються під час її розповсюдження (інтерференція, відбиття, дифракція, заломлення, поглинання, розсіювання). Аналіз особливостей, характеристик, фізики процесу їхнього формування є необхідним під час вирішення завдання – підвищення ефективності функціонування системи ЛТС шляхом зменшення рівня шуму як негативного фактора.

Блок «Характеристики потоку повітря. Роза вітрів» передбачає аналіз характеристик вітру, вплив його градієнта, швидкості і напрямку поширення на параметри звукової хвилі, що генерується і поширюється в системі ЛТС. Наведені також дані про вітропотенціал України.

Блок «Характеристики ВЕУ» об'єднує технічні характеристики вітроенергетичних установок, важливі для вирішення пропонованого завдання.

Подана блок-схема дає змогу розділити об'єкт моделювання на логічно пов'язані блоки, що уможливорює спрощення процесу його описання та розроблення математичної моделі. Нижче наведемо опис кожного з блоків.

4.1 Блок «Рівняння хвилі». Характеристики звуку та шуму

Згідно з визначенням, звук – це коливання пружного середовища (в розглядуваному випадку – повітряного середовища). Звукові хвилі

виникають у тому разі, якщо в пружному середовищі присутнє тіло, що коливається, або якщо частинки пружного середовища починають коливатися внаслідок дії на них будь-якої збуджуючої сили [22, 64].

Під час роботи БЕУ генеруються та розповсюджуються поперечні сферичні хвилі. Хвильове рівняння має такий вигляд [64]:

$$u = u(r, t), \quad (4.1)$$

Уявімо довільну точку D, яка рівномірно обертається по колу з радіусом A проти годинникової стрілки з постійною кутовою швидкістю ω (рад/с) (рис. 4.2) [22]. Рівняння руху точки D буде мати вигляд:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t, \quad (4.2)$$

де φ – кут повороту рухомого радіуса OD відносно нерухомого ОК;
 φ_0 – початкове значення кута φ в момент часу $t = 0$.

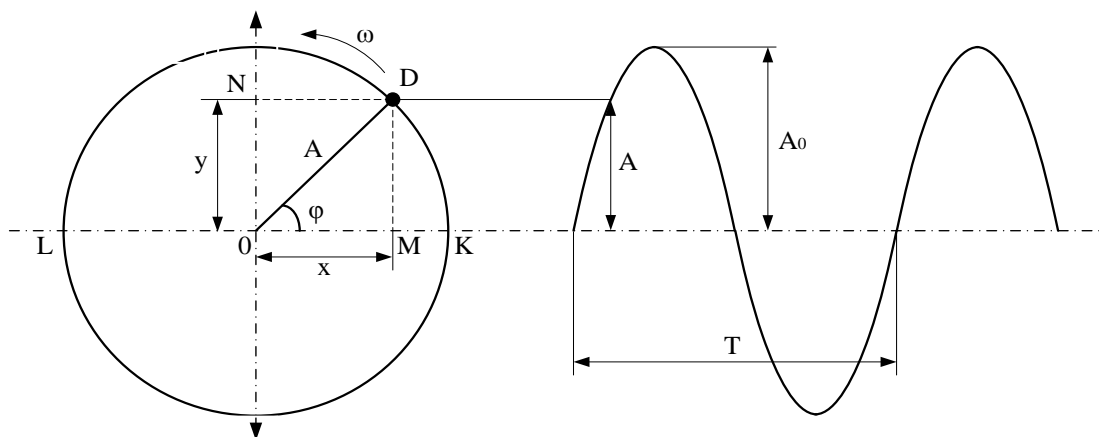


Рисунок 4.2 – Графічне зображення визначення характеристик елементів гармонічного коливального процесу

У процесі руху точки D як джерела коливального процесу її проекція – точка N на відрізок BF – буде змінювати своє положення. Таким чином вона буде здійснювати коливальний рух.

Тоді рівняння руху поперечної хвилі (рис. 4.3) буде мати такий вигляд [64]:

$$y = A \sin 2\pi ft = A \sin 2\omega t. \quad (4.3)$$

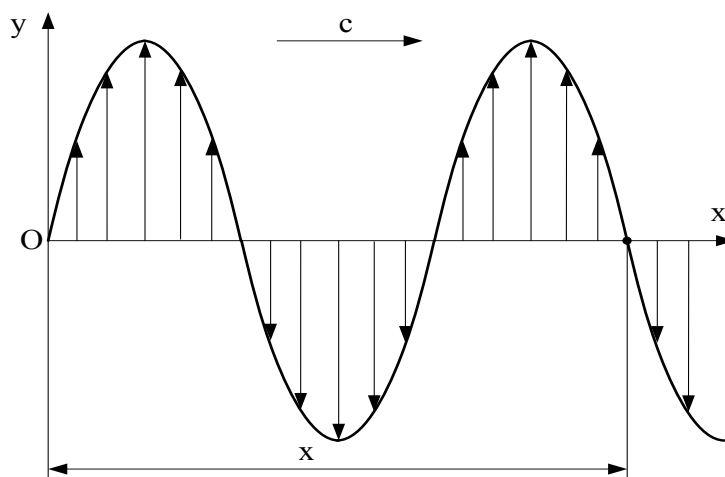


Рисунок 4.3 – Графічне зображення процесу розповсюдження поперечної хвилі

Таке коливання джерела (точки D) спричинить гармонічний коливальний рух пружно пов'язаних з ним сусідніх точок з тією ж амплітудою A і кутовою частотою ω . Наступні точки почнуть коливатися з деяким запізненням, тим більшим, чим більша відстань між точкою та джерелом. Так, для точки N, яка знаходиться на відстані r від джерела, початок коливань буде відставати від початку коливань на відрізок часу $\tau = \frac{r}{c}$, де c – швидкість розповсюдження хвилі у середовищі [64].

Швидкість звуку в газах залежить від його щільності, статичного тиску, температури. Швидкість звуку в повітрі за температури $t = 20^\circ\text{C}$ дорівнює приблизно 340 м/с.

У газоподібному середовищі розповсюджуються хвилі стискання (повздовжні хвилі). У таких хвилях напрямок коливань часточок співпадає з напрямком розповсюдження коливань. Коливальний процес у повітрі (газоподібному середовищі) характеризується однією пружною сталою – коефіцієнтом стисливості (чи зворотною величиною – модулем пружності).

Позначимо точку N як y_M (рис. 4.2). Зміщення точки N (y_M) у момент часу t буде дорівнювати зміщенню y_0 точки O в момент часу t' і може бути визначене за формулою:

$$t' = t - \tau = t - \frac{r}{c}. \quad (4.4)$$

У разі відсутності затухання за амплітудою це зміщення буде дорівнювати вихідному. Відповідно

$$y_M(t) = y_0(t') = A \sin \omega t'. \quad (4.5)$$

Підставивши значення t' , знаходимо, що відхилення від положення рівноваги точки, що знаходиться на відстані r від джерела хвилі, в момент часу t дорівнює

$$y_M(t) = A \sin \omega \left(t - \frac{r}{c} \right) = A \sin 2\pi f \left(t - \frac{r}{c} \right). \quad (4.6)$$

Під час руху хвилі справа наліво знак її швидкості розповсюдження змінюється:

$$y_M(t) = A \sin 2\pi f \left(t + \frac{r}{c} \right). \quad (4.6 \text{ a})$$

З рівняння (4.6) втікає, що зміщення (y) довільної точки N залежить від двох змінних: часу коливання t і відстані до джерела r . Якщо виконати заміну у виразі (4.6) кутової частоти ω на період коливань $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$, то отримаємо:

$$y = A \sin \frac{2\pi}{\omega} \left(t - \frac{r}{c} \right) = A \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi r}{cT} \right), \quad (4.7)$$

де y – зміщення звукової хвилі;

A – амплітуда коливання;

ω – кутова швидкість;

t – в момент часу;

r – відстань, м;

c – швидкість звуку в повітрі, м/с.

За виразами (4.6) і (4.7), усі точки хвилі коливаються з однаковими амплітудою A і періодом T , але з різними початковими фазами. Фаза точки N відрізняється від фази точки, що знаходиться на початку системи координат, на $\frac{2\pi r}{cT}$.

Розглянемо положення різних точок хвилі в один і той же момент часу для всієї хвилі. Для цього у формулі (4.6) зафіксуємо значення t і розглянемо y як функцію від x . Відповідно до (4.6) y є періодичною функцією x . Графік y як функція x за постійного t являє собою біжучу поперечну хвилю (рис. 4.4.). Для моменту часу $t + \Delta t$ усе буде таким самим, але зміщеним вправо на величину $\Delta r = c\Delta t$. На рисунку 4.4 наведені два послідовні «знімки» хвилі в моменти часу (t) і $(t + \Delta t)$.

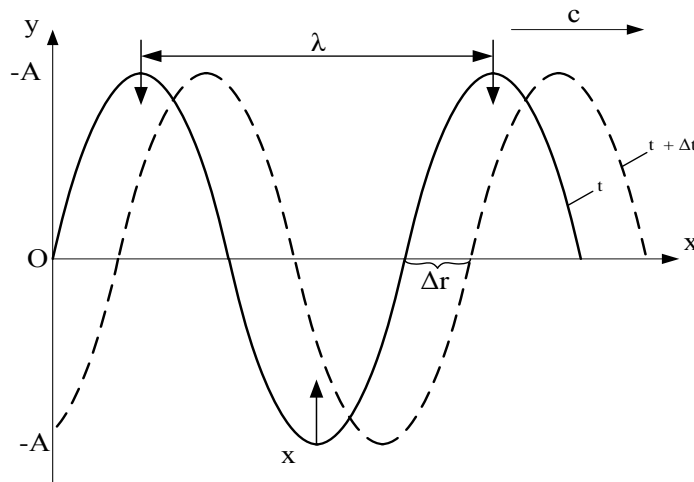


Рисунок 4.4 – Графічне зображення процесу розповсюдження хвилі за часом

Точки, у яких зміщення y досягає свого максимального значення $\phi_{\max} = (+A)$, називаються гребенем хвилі, а точки, у яких y набуває мінімального значення $\phi_{\min} = (-A)$, – западиною. Відстань між двома сусідніми гребенями чи западинами називають довжиною хвилі.

Згідно з (4.6),

$$\left(\omega t - \frac{\omega r}{c} \right) - \left(\omega t - \frac{\omega(r + \lambda)}{c} \right) = 2\pi, \quad (4.8)$$

Після скорочень отримуємо:

$$\frac{\omega \lambda}{c} = 2\pi \text{ чи } \frac{f\lambda}{c} = 1, \quad (4.9)$$

Таким чином довжина хвилі

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT. \quad (4.10)$$

За рис. 4.4, через проміжок часу Δt хвиля переміститься на відстань Δr , тоді як точки, що коливаються, залишаться на тому ж місці, на тих же відстанях x від джерела. Відношення $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ є швидкістю розповсюдження хвилі, яка, відповідно до (4.10), становить:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f. \quad (4.11)$$

Швидкість хвилі дорівнює її частоті (кількості хвиль, що випромінює джерело за секунду), помноженій на довжину хвилі. За час T хвиля переміщується на відстань λ .

Підставивши вираз (4.11) у (4.7), отримуємо:

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda} \right) = A \sin [2\pi (ft - kr)], \quad (4.12)$$

де $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – хвильовий вектор.

4.2 Явища, що спостерігаються під час розповсюдження звукової хвилі

В однорідному середовищі звукова хвиля розповсюджується з постійною швидкістю. Але реальне середовище, у якому розповсюджується хвиля, є неоднорідним, тому під час моделювання

процесу її розповсюдження необхідно враховувати такі явища, як інтерференція, відбиття, дифракція, заломлення, поглинання, розсіювання [18, 64, 65].

4.2.1 Інтерференція хвиль. Вплив інтерференції на формування рівня звукового тиску в системі ЛВЕСС

Якщо визначеного областю простору поширюється одночасно декілька хвиль, то коливання будь-якої точки середовища, що викликаються кожною хвилею окремо, будуть складатися одне з одним за правилами складання коливань [64]. Таким чином, коливання кожної точки середовища є сумою незалежних коливань, викликаних кожною із одночасно діючих на точку хвиль.

Якщо частота коливань двох хвиль однакова і різниця фаз змінюється з часом, такі хвилі називають когерентними. Внаслідок накладання когерентних хвиль спостерігається явище інтерференції. Необхідність вираховування явища інтерференції хвиль полягає в тому, що якщо фази коливань двох чи більше хвиль однакові, то це спричиняє до підвищення сумарної амплітуди хвилі (в розглядуваному випадку – звукової) шляхом додавання їхніх амплітуд. Як наслідок – формується значне збільшення рівня звукового тиску, який є негативним фактором системи «Людина – Вітроенергетична станція – середовище».

Розглянемо ефект інтерференції як результат спільної дії коливання двох плоских хвиль у фіксованій точці М.

Приймаємо, що кожна з хвиль поширюється від окремої ВЕУ, що розташовані в точках (O_1) , (O_2) , (рис. 4.5). Відстань O_1M позначимо r_1 , а O_2M – r_2 . Прийmemo, що початкові фази хвиль дорівнюють 0.

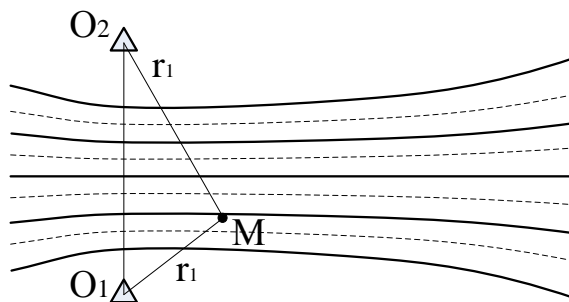


Рисунок 4.5 – Графік результуючих коливань від двох плоских хвиль

Рівняння для першої хвилі:

$$y_1 = A_1 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} \right), \quad (4.13)$$

Рівняння для другої хвилі:

$$y_2 = A_2 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} \right). \quad (4.14)$$

Приймаємо також, що ВЕУ мають однакову потужність, і тому амплітуда обох хвиль буде практично однаковою, за умови що r_1 і r_2 за величиною відрізняються незначно:

$$A_1 = A_2 = A. \quad (4.15)$$

Результуюча амплітуда звукової хвилі в точці М буде дорівнювати сумі двох коливань, що приходять в точку М, які будуть відрізнятися лише фазами φ_1 і φ_2 , оскільки ці фази залежать від відстаней r_1 і r_2 .

$$\varphi_1 = -2\pi \frac{r_1}{\lambda}, \quad \varphi_2 = -2\pi \frac{r_2}{\lambda}.$$

Відповідно зміщення точки коливального процесу в точці М буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} y &= A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} \right) + A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} \right); \\ y &= 2A \cos \left(2\pi \frac{r_1 - r_2}{\lambda} \right) \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r_1 - r_2}{\lambda} \right) = B \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r_1 - r_2}{\lambda} \right). \end{aligned}$$

До того ж амплітуда резонансного коливання (В), яке буде виникати внаслідок явища інтерференції, може бути обрахована за такою формулою:

$$B = 2A \cos \left(2\pi \frac{r_1 - r_2}{2\lambda} \right). \quad (4.16)$$

Суттєво, що амплітуда B сумарного коливання (y) залежить від різниці відстаней точки M щодо джерел шуму.

Розглянемо два випадки:

1. Різниця відстаней r_1 і r_2 від джерел шуму до точки M дорівнює цілому числу довжин хвиль:

$$r_1 - r_2 = n\lambda, \quad (4.17)$$

де n – будь-яке ціле (додатне або від’ємне) число $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

У всіх точках, у яких має місце співвідношення (4.17), для B отримаємо:

$$B = 2A \cos n\pi = \pm 2A. \quad (4.18)$$

Висновок. Якщо різниця відстаней r_1 і r_2 від джерел шуму до деякої точки дорівнює цілому числу довжин хвиль (хвилі приходять у однаковій фазі), то амплітуда результуючого коливання подвоюється.

2. Різниця відстаней r_1 і r_2 від джерел шуму до точки M дорівнює числу $(n + \frac{1}{2})$ довжин хвиль або непарному числу довжин хвиль:

$$r_1 - r_1 = n\lambda + \frac{1}{2}\lambda = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}. \quad (4.19)$$

В цьому випадку амплітуда сумарних коливань (B) буде дорівнювати

$$B = 2A \cos\left(n\pi + \frac{\pi}{2}\right) = 0. \quad (4.20)$$

Таким чином, внаслідок явища інтерференції в цьому разі амплітуда сумарної хвилі стала рівною нулю.

Висновок. Якщо різниця відстаней r_1 і r_2 від джерел шуму до деякої точки дорівнює числу $(n + \frac{1}{2})$ довжин хвиль (хвилі приходять у протифазі), то амплітуда результуючого коливання дорівнює нулю.

У разі, коли амплітуди хвиль A_1 і A_2 різні, то в точці M , відповідно до умови (4.16), результуюча амплітуда буде дорівнювати

$$B = A_1 + A_2. \quad (4.21)$$

У точці M , відповідно до умови (4.20), повного загасання амплітуди не відбудеться, але вона досягне найменшого можливого значення, рівного модулю різниці амплітуд $|A_1 - A_2|$:

$$|A_1 - A_2| \leq B \leq A_1 + A_2. \quad (4.22)$$

Відомо, що енергія коливань E пропорційна квадрату амплітуди. Це справедливо для будь-якої точки хвильового поля. В найпростішому випадку, за однакових амплітуд інтерферованих хвиль, визначаємо, що енергія коливання у визначеній точці хвильового поля пропорційна B^2 і відповідно

$$E \propto B^2 = 4A^2 \cos^2 \left(2\pi \frac{r_1 - r_2}{2\lambda} \right). \quad (4.23)$$

Таким чином, під час інтерференції хвиль, у області максимуму значення енергії коливань E підвищується в 4 рази (за порівнянням з енергією коливань, що збуджується одним джерелом) (випадок 1), а в області мінімуму – дорівнює нулю (випадок 2).

4.2.2 Явище відбиття хвилі. Вплив відбиття хвилі на формування рівня звукового тиску в системі ЛВЕСС

Хвиля, яка падає на межу розподілу двох середовищ, що відрізняються акустичним опором (наприклад повітря, ґрунт), буде проходити крізь неї, частково відбиваючись. Залежно від співвідношення акустичних опорів, щільності цих середовищ, це явище буде відбуватися по-різному [64]. Хвиля, яка відбилася, у цьому разі змінює фазу коливань. Амплітуда відбитої хвилі буде меншого, тому що частина енергії падаючої хвилі буде витрачатися на збудження хвиль у другому середовищі. Варто

зазначити, що швидкість розповсюдження хвилі c_{11} у другому середовищі (більш щільному) буде відрізнятися від швидкості розповсюдження хвилі c_1 у першому середовищі. А оскільки, частота хвилі зберігається, вона дорівнює частоті коливань хвиль f , то змінюється довжина хвилі:

$$\lambda_{11} = \frac{c_{11}}{f} \neq \lambda_1 = \frac{c_1}{f}.$$

На підставі викладеного вище, щодо вітроенергетичних установок, необхідно зазначити таке. ВЕУ постійно випромінює хвилі. Одночасно хвилі, що випромінюються ВЕУ, у разі розповсюдження можуть відбиватися від межі різних середовищ. У цьому разі хвиля, яка поширюється від ВЕУ як джерела, буде накладатися на хвилю, що відбилася. Хвиля, що поширюється в напрямку мері двох середовищ – «пряма», а відбита від цієї межі – «зворотна». Якщо фази «прямої» і «зворотної» хвиль будуть однаковими, то результуюче коливання довільної точки середовища буде складатися з двох когерентних хвиль, що поширюються в протилежних напрямках.

Зміщення, яке спричинене «прямою» та «зворотною» хвилями, задамо, відповідно до (4.6), такими формулами:

$$\left. \begin{aligned} y_{\text{прям}}(t) &= A \sin 2\pi f \left(t - \frac{r}{c} \right), \\ y_{\text{звор}}(t) &= A \sin 2\pi f \left(t + \frac{r}{c} \right). \end{aligned} \right\} \quad (4.24)$$

Внаслідок інтерференції прямої та зворотної хвилі коливання в точці x буде підлягати закону, вираженому таким рівнянням:

$$\begin{aligned} y &= y_{\text{прям}} + y_{\text{звор}} = A \left[\sin 2\pi f \left(t - \frac{r}{c} \right) + \sin 2\pi f \left(t + \frac{r}{c} \right) \right] = \\ &= 2A \cos \left(2\pi f \frac{r}{c} \right) \sin 2\pi f t \end{aligned} \quad (4.25)$$

або, оскільки $\lambda = cT$

$$y(x, t) = 2A \cos \left(2\pi \frac{r}{\lambda} \right) \sin 2\pi f t = B(r) \sin 2\pi f t. \quad (4.26)$$

Хвилю, яка сформувалася внаслідок описаних явищ, називають «стоячою хвилею».

4.2.3 Дифракція хвиль. Вплив дифракції хвиль на формування рівня звукового тиску в системі ЛВЕСС

Пружні коливання поширюються на великі відстані від джерела не миттєво, а поступово, від однієї точки середовища до сусідньої [64]. Це твердження належить фізику Гюйгенсу.

Згідно з принципом Гюйгенса, кожна точка хвильового поля, що увійшла в коливальний процес, стає сама джерелом вторинних хвиль. Результируюча хвиля, що поширюється далі, виникає як наслідок накладання та інтерференції всіх хвиль від вторинних елементарних джерел.

Хвильова поверхня – геометричне місце точок, що коливаються в однаковій фазі. Фронт хвилі також є хвильовою поверхнею, точки якої одночасно починають коливальний рух. Положення фронту хвилі (сферична хвиля) в деякий довільний час t зображено на рисунку 4.6.

Використовуючи принцип Гюйгенса, можна знайти значення вид фронту хвилі через малий проміжок часу Δt . Для цього необхідно з кожної точки, яка є вторинним джерелом хвиль, провести лінію радіусом $\Delta r = c\Delta t$ у напрямку поширення хвилі. Новий фронт хвилі отримується як обгинаюча цих вторинних хвиль.

Принцип Гюйгенса дає змогу пояснити явище дифракції – здатність хвилі у разі падіння на перешкоду (залежно від співвідношення довжини хвилі (λ) і розміру перешкоди (l_p) огинати її [65].

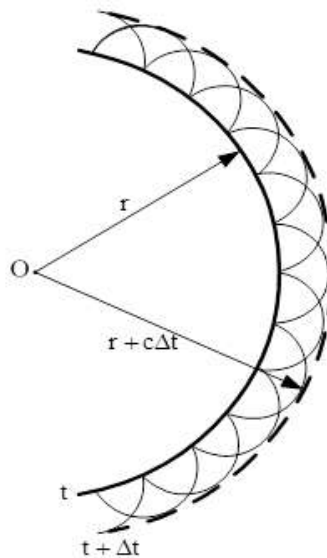


Рисунок 4.6 – Фронт хвилі

Якщо $\lambda > l_{\text{п}}$, то за перешкодою утворюється акустична тінь. Розміри тіні залежать від співвідношення довжини хвилі λ і розмірів перешкоди $l_{\text{п}}$. Якщо дифракція відбувається в паралельних променях, то протяжність тіні ($l_{\text{т}}$) можна визначити за формулою:

$$l_{\text{т}} = \frac{D^2}{4\lambda} = \frac{D^2 f}{4c} \quad (4.27)$$

де D – поперечний розмір перешкоди.

Залежно від співвідношення довжини хвилі, розмірів перешкоди (h), її відстані від джерела (r) і до РТ (R), величина ослаблення звуку за перешкодою буде становити від 1 до 20 дБ.

За допомогою допоміжної величини N , що обраховується за формулою (4.28) з використанням графіка (рис. 4.7), є можливість визначити величину зниження рівня шуму, яке отримується внаслідок встановлення перешкоди як акустичного екрану – засобу захисту від підвищеного рівня шуму:

$$N = \frac{2}{\lambda} \left[r \left(\sqrt{1 + \left(\frac{h}{r} \right)^2} - 1 \right) + R \left(\sqrt{1 + \left(\frac{h}{R} \right)^2} - 1 \right) \right]. \quad (4.28)$$

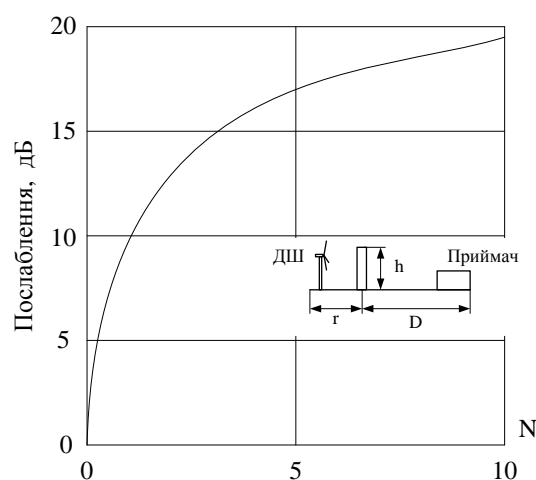


Рисунок 4.7 – Номограма для визначення зниження рівня шуму при улаштуванні шумозахисного екрану

4.2.4 Заломлення хвилі. Вплив заломлення хвилі на формування рівня звукового тиску в системі ЛВЕСС

У разі непостійної швидкості поширення звукових коливань від ДШ виникає заломлення, причиною якого може бути коливання температури та зміна вітру [18, 65]. Якщо тип середовища є постійним, то і зміни швидкості звуку, які спостерігаються в такому разі, є незначними. Заломлення хвилі приймає суттєві значення тоді, коли відстань між джерелом і приймачем звуку (шуму) є значною.

Процес розповсюдження звукових хвиль в неоднорідному середовищі є досить складним, тому здебільшого задовольняються розрахунком «звукових променів», тобто припускають, що на певній відстані і за певної довжини хвилі швидкість звуку змінюється незначно. Ураховуючи це, можна застосувати принцип Ферма про найменший час пробігання хвилі або закон заломлення Снеліуса, який свідчить про те, що так звана довжина сліду хвилі ($\lambda/\sin \theta$) не залежить від середовища, а й не тільки від співвідношення зміни швидкості поширення хвилі:

$$\sin \Theta_2 = \frac{c_2}{c_1} \sin \Theta. \quad (4.29)$$

Звукова хвиля, падаючи з одного середовища зі швидкістю звуку c_1 під кутом Θ , потрапляючи через плоску граничну поверхню в інше середовище, рухається уже під кутом Θ_2 і поширюється в ньому зі швидкістю звуку c_2 .

Розрахувати та пояснити появу різних ефектів (тіньові зони, канали поширення), що з'являється під час поширення звуку на великі відстані, їхнє врахування і використання під час вирішення визначеного завдання на, можна із за виразом (4.28) рисунок 4.7.

4.2.5 Сферична хвиля. Вплив параметрів сферичної хвилі на формування рівня звукового тиску в системі ЛВЕСС

Хвиля, фронт якої є сферою, називається сферичною. До того ж звукові промені співпадають з радіусами сфери (рис. 4.8). Така хвиля формується в таких випадках:

1. Розмір джерела шуму (звуку) набагато менший за довжину хвилі та відстані від джерела до точки прийому, що дає змогу вважати ДШ точкою. Таке джерело називають точковим.

2. Джерело становить собою пульсуючу сферу.

Поширення хвилі спричиняє до зменшення інтенсивності звуку з віддаленням від джерела.

Розглянемо закономірності, що спостерігаються під час випромінювання сферичної хвилі в повітрі.

У загальному вигляді хвильове рівняння має такий вигляд:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \Delta u, \quad (4.30)$$

де $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа;

$u = u(r, t)$ – функція;

$t \in \mathbb{R}$ – час;

$x \in \mathbb{R}^n$ – просторова змінна.

$$u = \frac{\vec{u}_0}{r} \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) \quad (4.31)$$

де $\omega = 2\pi f = kc$.

Параметричні рівняння сфери:

$$x = r \cdot \sin\Theta \cdot \sin\varphi; y = r \cdot \sin\Theta \cdot \cos\varphi; z = r \cdot \cos\Theta;$$

$$\Delta u = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin\Theta} \frac{\partial}{\partial \Theta} \left(\sin\Theta \frac{\partial u}{\partial \Theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \Theta} \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2}. \quad (4.32)$$

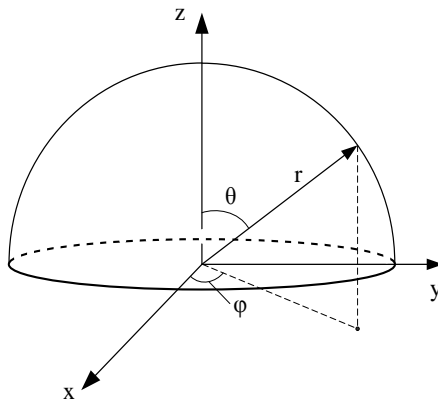


Рисунок 4.8 – Графічне зображення випромінювання сферичної хвилі

З огляду на викладе вище можна стверджувати, що на великих відстанях у системі «Людина – ВЕУ – Навколишнє середовище» об'єкт дослідження (ВЕУ, ВЕС) необхідно подавати і розглядати як точкове джерело шуму, що випромінює сферичні хвилі. Під час розповсюдження сферичної хвилі спостерігаються ті ж явища, що були розглянуті вище. Це необхідно пам'ятати під час проектування заходів і засобів захисту від підвищеного рівня шуму (звуку) на віддалених від ВЕС об'єктах. До того ж необхідно брати до уваги, що зі збільшенням відстані від ДШ до об'єкта захисту спектр звукової хвилі характеризується підвищеною амплітудою у сфері низьких частот (частот з більшою довжиною хвилі).

4.2.6 Блок «Характеристики потоку повітря. Роза вітрів».

Вплив параметрів потоку повітря на формування звукової хвилі в системі ЛВЕСС

Вітер. Швидкість вітру

Нерівномірний розподіл тепла в атмосфері спричиняє нерівномірний розподіл атмосферного тиску, від чого залежать параметри руху повітря – вітру (повітряних течій). Вітер характеризується вектором швидкості і напрямком. За напрямком вітру приймають азимут точки, з якої поширюється вітер. Відлік прийнято починати від точки півночі через схід. Швидкість вітру як джерела енергії є однією з головних технічних характеристик ВЕУ. Для більшості з них робочий діапазон швидкості вітру становить 3–50 м/с.

Напрямок вітру

Очевидно, що під час розповсюдження звукової хвилі в повітрі, напрямок вітру впливає на її параметри, зокрема, на швидкість. До того ж доведено, що коли звукова хвиля поширюється під деяким кутом до напрямку вітру, то вектори їхньої швидкості додаються [24]. Результуючий напрямок і швидкість поширення звукової хвилі визначають за правилом паралелограма (рис. 4.9).

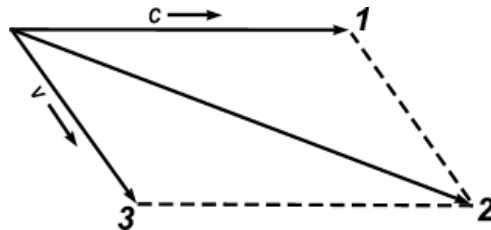


Рисунок 4.9 – Графічний метод визначення напрямку і швидкості поширення звукової хвилі за наявності вітру:

*1 – вектор напрямку поширення і швидкості хвилі при відсутності вітру;
2 – результуючий напрямок поширення звуку; 3 – напрямок вітру*

Напрямок вітру визначається як кут, що утворюється напрямком вітру з меридіаном, тобто його азимутом. Розрізняють вісім головних румбів – північний, північно-східний, східний, південно-східний, південний, південно-західний, західний, північно-західний і вісім проміжних румбів між ними (рис. 4.10).

Переважаючий напрямок вітру, а також його систематизовані флуктуації протягом року повинні враховуватись під час аналізу шумового поля від ВЕУ, ВЕС як допоміжні фактори оцінки закономірностей розповсюдження звукових хвиль.

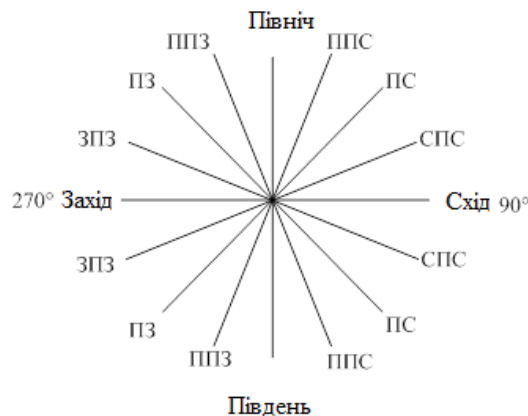


Рисунок 4.10 – Розподілення румбів відносно сторін горизонту

Гradient швидкості вітру

За результатами, обґрунтованими відповідними дослідженнями [18, 24] і викладеними вище, можна зробити висновок, що на параметри процесу розповсюдження звуку впливає напрямок вітру. Окрім того, швидкість руху повітря змінюється за висотою. Це обумовлено тим, що рух повітря біля поверхні землі сповільнюється через тертя і наявність перешкод. Зі збільшенням висоти швидкість звуку також збільшується.

Аналізуючи поширення звукової хвилі, необхідно зазначити таке. Під час розповсюдження звукової хвилі в напрямку вітру її частина, яка знаходиться ближче до землі, внаслідок дії вітру заломлюється, а під час розповсюдження проти напрямку вітру її фронт рухається від поверхні землі (рис. 4.11).

До цього ж, на характеристики звукової хвилі, що заломлюється, впливають (крім характеристик вітру) наявність і параметри рослинності, будівель, нерівності поверхні землі, які заходяться на шляху її поширення. Під час поширення звукової хвилі проти напрямку вітру може утворюватись тіньова зона (акустичний горизонт).

У разі постійного градієнта швидкості вітру $c' = dc/dz$ (де z – висота над поверхнею землі) звукові промені утворюють ряд криволінійних ліній, які можна приблизно описати дугою кола, радіус якого обчислюється за такою формулою:

$$R \approx \frac{c_0}{c' \cos \varphi}, \quad (4.33)$$

де φ – кут між напрямком вітру і напрямком поширення звукової хвилі.

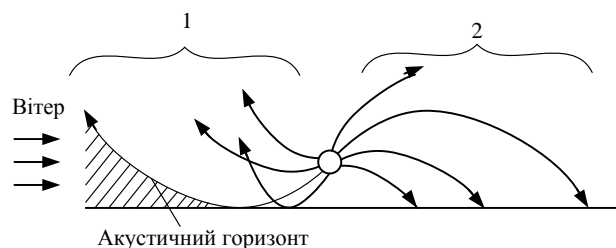


Рисунок 4.11 – Відхилення звукових променів під час розповсюдженні хвилі:

1 – за вітром; 2 – проти вітру

Відстань x_S від ДШ, яке знаходиться на висоті z_S над поверхнею землі, до межі тіньової зони (у разі розміщення приймача звуку на висоті z_E) можна розрахувати за формулою:

$$x_S = \sqrt{\frac{2c_0}{c' \cos \varphi}} (\sqrt{z_E} + \sqrt{z_S}). \quad (4.34)$$

Отже, градієнт швидкості вітру залежить від висоти. На рисунку 4.12 наведені середні значення градієнта швидкості вітру.

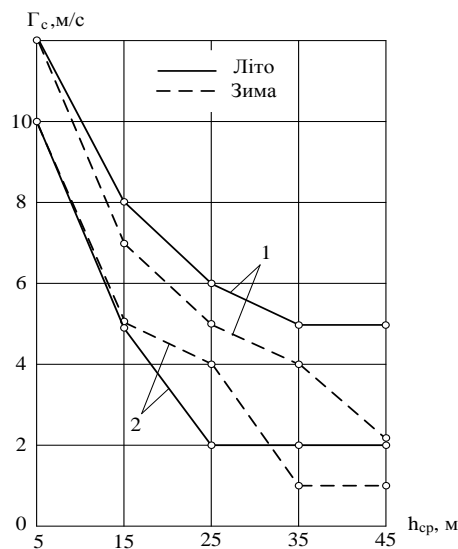


Рисунок 4.12 – Середні значення градієнта швидкості вітру опівночі (1) і в полудень (2) у разі зміни висоти над поверхнею землі: Γ_c – градієнт швидкості вітру на висоті 100 м, м/с; h_{cp} – середня висота шарів повітря товщиною 10 м кожний над поверхнею землі, м

Виходячи з викладеного вище, можна зазначити, що градієнт швидкості вітру обов'язково потрібно враховувати під час проектування ВЕС, аналізу її звукового поля та параметрів розповсюдження звукової хвилі від ВЕУ.

4.2.7 Ефект «сліду» турбіни ВЕУ

Енергія вітрового потоку, який «пройшов» крізь турбіну, як елемент перетворення енергії ВЕУ, буде меншою, ніж його енергія перед турбіною [67]. Внаслідок цього у підвітряному щодо ВЕУ напрямку буде утворюватися «повітряний мішок». Отже, позаду турбіни ВЕУ завжди буде формуватися «слід» повітряного потоку, який має високу турбулентність. Цей потік повітря характеризується зменшеною швидкістю, хаотичним напрямком поширення тощо.

У зв'язку з цим, для забезпечення максимальної ефективності використання вітрового потоку, уникнення турбулентного потоку на ВЕС вітроенергетичні установки розташовують на визначеній відстані одна від одної. Ця відстань повинна бути не меншою за величину потрібної довжини діаметра ротора ВЕУ.

4.2.8 Вітропотенціал України. Роза вітрів

Згідно з опублікованими даними, Україна має великий вітропотенціал (за оптимістичним прогнозом до 1 000 млн. кВт) [68]. На рисунках 4.13 – 4.14 наведені карти районування території України за швидкостями вітру [69] і відповідно до зон районування визначений питомий енергетичний потенціал вітру на різних висотах за статистичними даними за швидкістю і напрямком вітру. Дані доводять, що швидкість вітру практично однакова на всій території, але деякі райони східної частини України характеризуються більшою кількістю днів штильової погоди [70].

Для того щоб охарактеризувати кліматичний режим вітру, побудуємо діаграму розподілу повторюваності напрямку вітру за головними румбами – розу вітрів. За даними [70] систематизуємо отримані результати (дод. Б) та будуємо графік року вітрів за рік для м. Євпаторія (рис. 4.15 – 4.16).



Рисунок 4.13 – Районування території України за швидкістю вітру

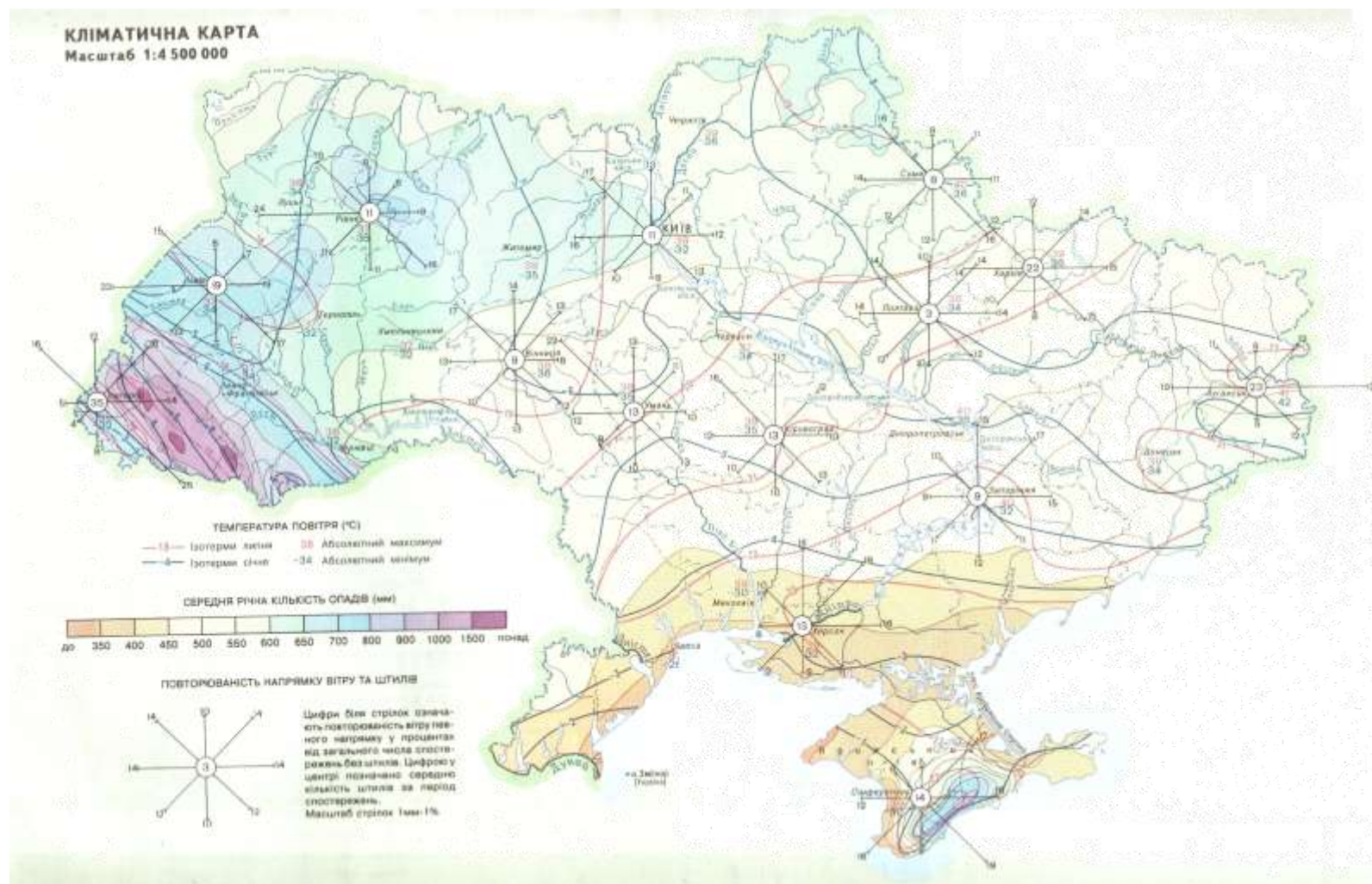


Рисунок 4.14 – Кліматична карта і переважні напрямки вітру в Україні



Рисунок 4.15 – Роза вітрів за кількістю повторень напрямку вітру протягом року в м. Євпаторія

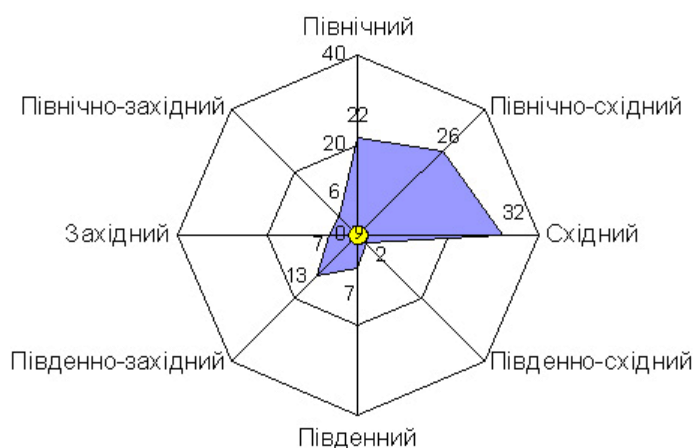


Рисунок 4.16 – Роза вітрів за середніми значеннями швидкості вітру протягом року в м. Євпаторія

4.3 Блок «Характеристики ВЕУ»

У наш час на ВЕС України широко застосовується вітротурбіна ВЕУ середньої потужності USW 56-100 фірми «Kenetech Wind Power» (головні параметри ВЕУ USW 56-100, табл. 4.1) [73]. Її підключення до системи здійснюється через трансформатор, а вітростанції групи ВЕС поєднані з єдиною енергетичною системою підвищувальними трансформаторами і лінією електропередач. Центральний пункт керування (ЦПК) забезпечує управління системою ВЕУ через комп'ютеризовану систему, яка уможливорює одночасне забезпечення ефективної роботи 250 ВЕУ. До того ж режим роботи кожної ВЕУ, включаючи запуск

і зупинення, зокрема автономно, залежно від сили й напрямку вітру в місці її розташування. Механізм керування поворотом лопаті називається пїтчем. Ця ВЕУ належить до класу С.

4.3.1 Структурна схема ВЕУ

Структурна схема ВЕУ містить ротор, вітротурбіну з трьох лопатей, маточину, поворотний пристрій і привідний механізм, що змінює кут атаки лопатей. Лопаті виготовлені з поліестера (армованого скловолокна).

Таблиця 4.1 – Головні технічні характеристики ВЕУ USW-56-100

Найменування параметрів	Величина
РОТОР:	
Тип	Змінний крок
Кількість лопатей	3
Діаметр, м	17
Швидкість обертання, об/хв	72
Напрямок обертання	За годинниковою стрілкою
Орієнтація за вітром	Пасивна, вільне нишпорення
Висота осі ступиці	20 або 26 м
ЛОПАТЬ:	
Довжина, м	8,3
Матеріал	Композиційне скловолокно
ВЕЖА:	
Тип	Ферма
Висота	18 або 24 м
Матеріал	Сталевий прокат, фарбований або оцинкований
РОБОЧІ ПОКАЗНИКИ ВІТРОТУРБИНИ:	
Номінальна потужність	107,5 кВт
МАСА:	
Модуль турбіни	3 700 кг

Модуль головки ВЭУ (рис. 4.17) зібраний на головній рамі. Головна механічна передача складається з вала ротора та трансмісії, приєднаної за допомогою еластичної муфти через карданне з'єднання до генератора. Вузол вала призначений для передавання обертового руху маточини вітротурбіни до модуля трансмісії.

Трансмісія становить собою двоступінчастий підвищувальний редуктор (мультиплікатор) з передаточним числом $i = 20,632$. Він призначений для підвищення швидкості обертання головного вала. На вищій стороні мультиплікатора розташоване дискове гальмо з системою антиблокування.

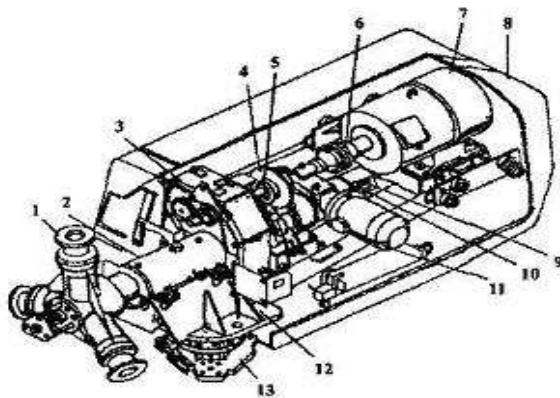


Рисунок 4.17 – Конструктивна схема ВЕУ USW 56-100:

- 1 – ступиця; 2 – вузол вала; 3 – трансмісія; 4 – дискове гальмо;
5 – еластична муфта ; 6 – провідний вал; 8 – кожух;
9, 10, 11 – система зміни кута атаки лопаті; 12 – головна рама;
13 – головна опора*

Обертання сполучного вала передається генератору за допомогою еластичної муфти, що забезпечує зменшення механічного впливу на генератор. Як генератор використовується асинхронний трифазний генератор з номінальною потужністю 110 кВт і синхронною швидкістю обертання 1500 об/хв. Модуль головки вітротурбіни розміщений в кожусі, що призначений для захисту устаткування від зовнішнього механічного і атмосферного впливів.

4.3.2 Функціональна схема ВЕС

Розглянемо узагальнену схему побудови вітроелектростанції (ВЕС) (рис. 4.18). До складу ВЕС, крім вітротурбіни (ВТ), належать:

- система керування ВЕС;
- одна або декілька метеовеж (залежно від кількості ВЕУ і розмірів ділянки, на якій розміщена ВЕС);
- комплектні трансформаторні підстанції;
- підстанція.

Система керування ВЕС здійснює управління, контроль і облік роботи ВЕС загалом і й кожної вітротурбіни зокрема.

Метеовежі призначені для визначення швидкості й напрямку вітру та передавання інформації про ці параметри в систему керування ВЕС [73].

Комплектна трансформаторна підстанція обслуговує групу ВЕУ і забезпечує підвищення напруги від генераторів ВТ до її значення в лінії електропередачі. Ця напруга передається на підстанцію.

4.3.3 Конструктивна схема й головні елементи ВЕУ

Вітроенергетична установка складається з таких функціональних частин:

- первинний перетворювач;
- генератор;
- механізм керування поворотом лопаті – пітч;
- система керування вітротурбіною;
- головна опора.

Конструктивна схема ВЕУ подана на рисунку 4.19. Розглянемо склад, призначення й функціонування цих частин.

Первинний перетворювач складається з послідовних кінематично пов'язаних частин: лопаті, маточини, головного валу, трансмісії, приводного валу. Він призначений для перетворення кінетичної енергії вітру в обертотворний рух приводного валу.

Вузол ротора перетворює енергію вітру в механічну енергію обертання. Вузол складається з трьох лопатей і ступиці з високоміцного чавуну.

Лопать становить собою крило, подібне до крила літака [74]. Вона сприймає потік повітря і розташована під відповідним кутом атаки, що створює піднімальну силу. Піднімальна сила забезпечує обертовий момент, який рухає ротор і запускає генератор.

Лопать має спеціальний вигин, який забезпечує постійний кут атаки за всією її довжиною.

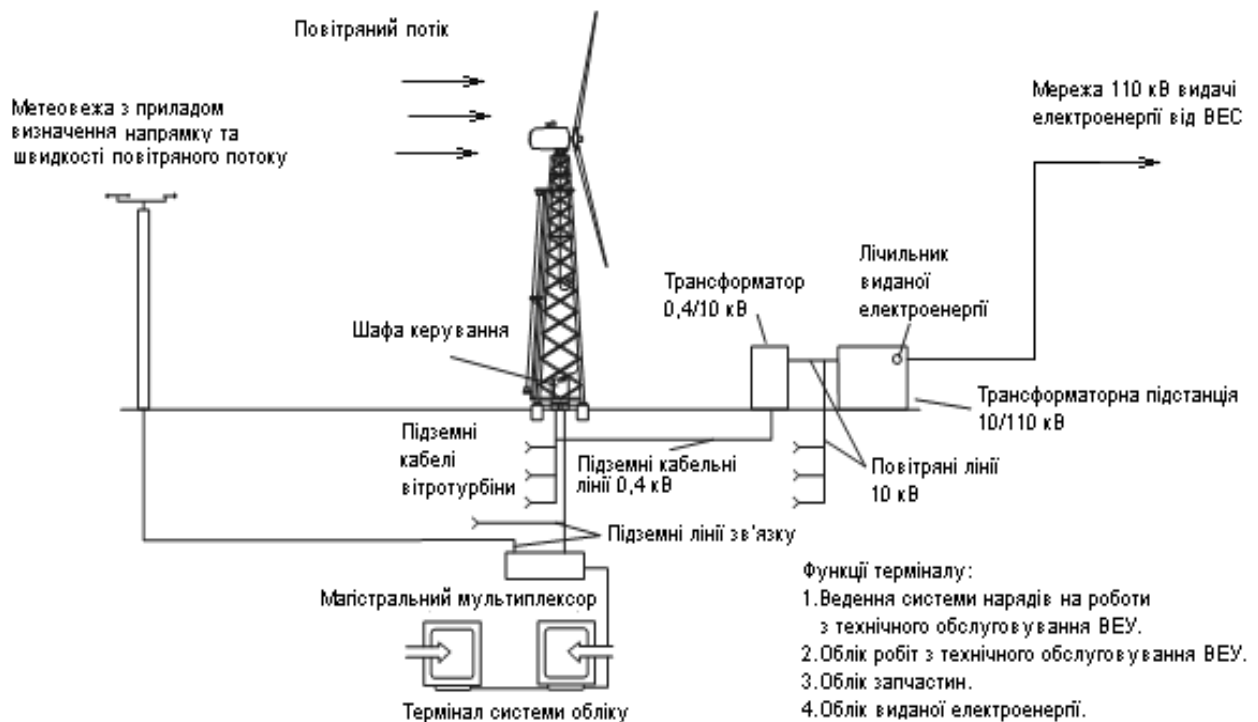


Рисунок 4.18 – Загальна схема побудови ВЕС

Внаслідок цього на вершині лопаті компенсується більш висока відносна швидкість вітру. Лопаті ВЕС USW 56-100 виготовлені з ламінованого скловолокна, у них використане крило типу NASA 1A.

Лопаті кріпляться до валів ступиці, які розміщені в підшипниках, і мажуть розвертатися для вибору оптимального кута атаки. Обертання вала лопаті забезпечується шатунами, які шляхом керування підчепом, переміщуються разом з валом. Вал керування підчепом вставляється на шліцах до сполучної пластини ступиці.

Вітроенергетична установка складається з таких елементів (рис. 4.19): Головна опора призначена для розміщення модуля вітрогенератора на вежі.

Генератор становить собою трифазну асинхронну машину з частотою обертання ротора 1 500 об/хв. Він виробляє електроенергію таких же параметрів, що й у мережі електропостачання. Увімкнення генератора в мережу здійснюється контактором у момент досягнення синхронної частоти обертання генератора. Команду на увімкнення контактора видає мікропроцесорна система керування.

Механізм керування поворотом лопаті (пітч) оснащений датчиком, що призначений для вимірювання кута повороту лопатей і передавання сигналу, що відповідає цьому положенню, на вхід системи керування.

Система керування БЕУ складається з таких вузлів і блоків:

- електронно з'єднаних між собою мікропроцесорного пристрою керування;

- датчика пітча;

- датчика пошуку;

- тахогенератора;

- датчиків активної потужності;

- виконавчих реле й контакторів;

- елементів захисту електричної схеми вітротурбіни.

Вітротурбіна має пасивну систему пошуку, тобто орієнтується за напрямком і силою вітру.

Датчик вузла пошуку призначений для формування аварійного сигналу у випадку, якщо кут між повздовжною віссю модуля вітротурбіни й напрямком вітрового потоку складе величину близько 90° .

4.3.4 Вітроенергетична установка як неспрямоване джерело випромінювання шуму

Для більш точних розрахунків застосуємо діаграму спрямованості.

БЕУ генерує механічний та аеродинамічний шум (рис. 4.20). Були проведені дослідження впливу шорсткості поверхні лопаті на рівень аеродинамічного шуму БЕУ.

З метою оцінки цього фактора одну лопать очистили від бруду, другу перевернули, а третю залишили без обробки [72]. Фіксувалися й інші дані: швидкість вітру, направленість турбіни, швидкість обертання ротора, кут атаки вітротурбіни.

На рисунку 4.21 відображений комплексний ефект впливу трьох лопатей на рівень шуму, що генерується в площині ротора [72].

Найбільший рівень випромінювання шуму відбувається при низхідному русі лопаті. Діапазон кольорової гами складає 12 дБ, що вказує на те що, шум, при висхідному русі лопаті, складає не менше 12 дБ. Такі результати були зафіксовані у всіх вимірюваннях при різних частотах.

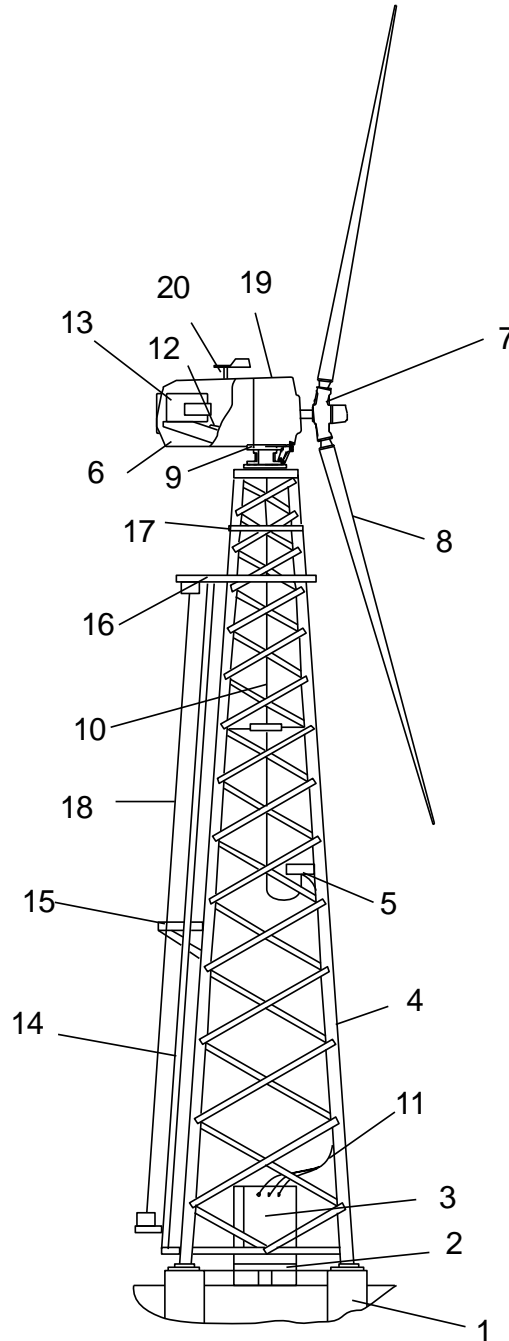


Рисунок 4.19 – Конструктивна схема вітроустановки:

1, 2 – фундамент; 3 – шафа системи керування; 4 – вежа;
 5 – з'єднувальна коробка; 6 – модуль вітротурбіни; 7 – ступиця;
 8 – лопаті; 9 – головна опора; 10, 11 – кабелі; 12 – розподільча
 коробка; 13 – генератор; 14 – драбина; 15, 16 – площадка; 17 – кільце
 безпеки; 18 – пристрій безпеки; 19 – гондола; 20 – датчик пошуку

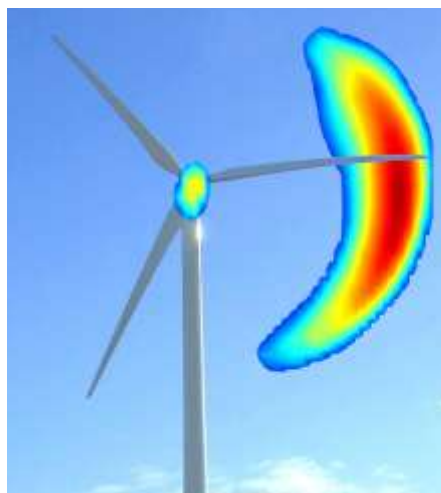


Рисунок 4.20 – Випромінювання механічного та аеродинамічного шуму лопаттю ВЕУ

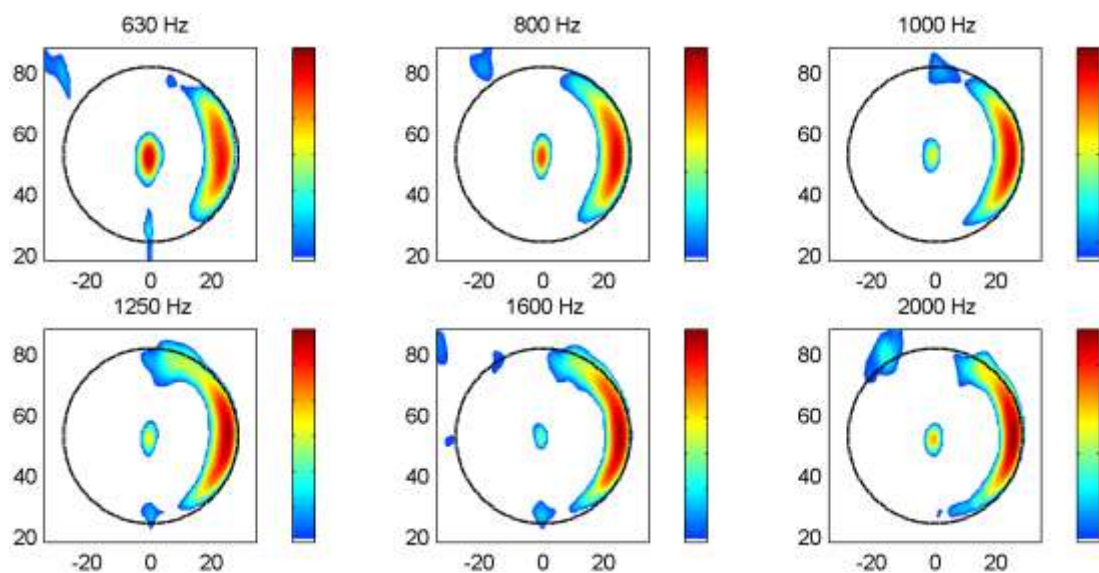


Рисунок 4.21– Розповсюдження шуму генератора та трьох лопатей (діапазон кольорової гами становить 12 дБ)

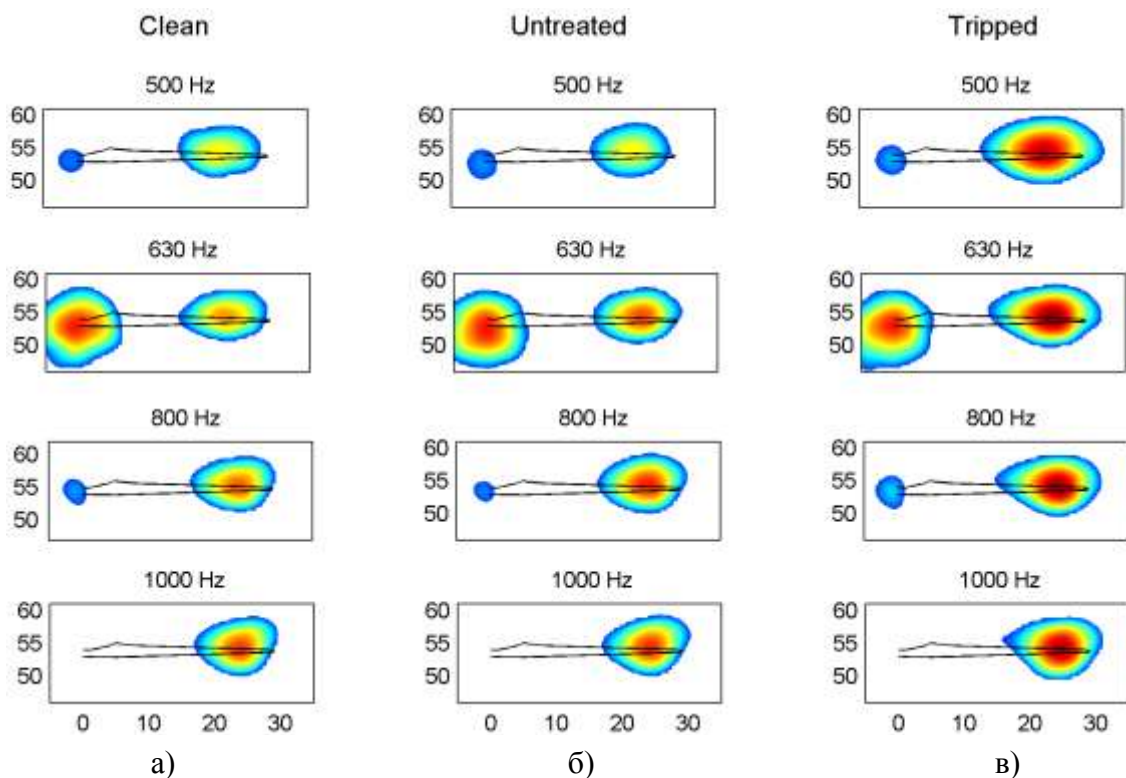


Рисунок 4.22 – Розповсюдження шуму від лопаті:

а – очищена лопать; б – неочищена лопать; в – перевернута лопать

На рисунку 4.22 наведено дані шумового випромінювання від однієї лопаті за різних частот вимірювання. Порівняльний аналіз показує, що шум утворюється на кінці лопаті з зовнішньої сторони.

4.4 Блок «Логіка»

У цьому підрозділі наведено послідовність побудови й результати розроблення математичної моделі на базі логічного взаємозв'язку систематизованих даних, поданих у попередніх блоках.

Зазначимо, що необхідно отримати математичну модель для звукової хвилі, яка поширюється у відкритому просторі від джерела шуму до приймача. Головним завданням створюваної математичної моделі є забезпечення спрощення етапів розв'язання прикладних математичних задач, що стосуються підвищення ефективності функціонування системи «Людина – Вітроенергетична станція – Середовище».

Умовно (для прикладу) приймемо, що ВЕС вміщує 11 вітроенергетичних установок. Вони знаходяться на різній відстані від точки М (рис. 4.23).

Створимо математичну модель для знаходження закономірності розповсюдження звукової хвилі від ВЕУ з урахуванням явищ інтерференції, дифракції та відбиття.

Розглянемо кожний випадок окремо для обраного варіанта розміщення ВЕУ.

Виходячи з рівняння (4.31), отримаємо:

$$u_1 = \frac{A_1}{r_1} \sin \omega t - kr_1, \quad u_2 = \frac{A_2}{r_2} \sin \omega t - kr_2, \quad u_3 = \frac{A_3}{r_3} \sin \omega t - kr_3, \quad u_n = \frac{A_n}{r_n} \sin \omega t - kr_n,$$

де $A_1 = P_1 \cdot r_0, \dots, A_n = P_n \cdot r_0$ – виміряна величина рівня звукового тиску (Па·м);

r_0 – мінімальна відстань випромінювання від ДШ ($r_0 = 8,5$ м), на якій регламентується вимірювання;

$P_1 \dots P_n$ – рівень звукового тиску (Па), $L = 20 \lg \frac{P_i}{P_0}$, $p_i = p_0 \cdot 10^{\frac{L}{20}}$.

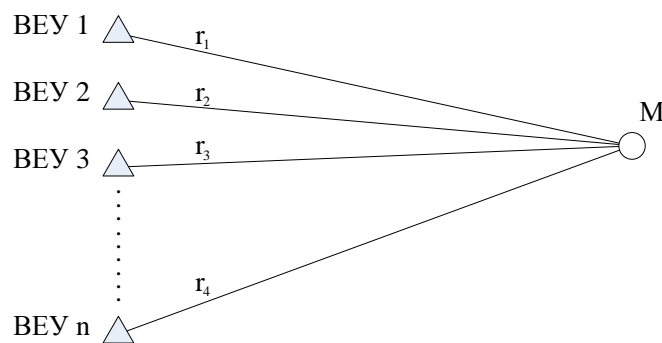


Рисунок 4.23 – Схематичне зображення розміщення ВЕУ на ВЕС щодо точки М

Напишемо рівняння інтерференції звукової хвилі в точці М з урахуванням (n) окремих хвиль:

$$u = \left[\left(\frac{P_1 \cdot r_0}{r_1} \sin \omega t - kr_1 \right) + \left(\frac{P_2 \cdot r_0}{r_2} \sin \omega t - kr_2 \right) + \right. \\ \left. + \left(\frac{P_3 \cdot r_0}{r_3} \sin \omega t - kr_3 \right) + \dots + \left(\frac{P_n \cdot r_0}{r_n} \sin \omega t - kr_n \right) \right]. \quad (4.35)$$

Наведене рівняння (4.35) для кількості ВЕУ = n не є адекватним. Завданням дослідження є розроблення універсальної математичної моделі, за допомогою якої, незалежно від кількості ВЕУ, можна було б визначити параметри інтерференції в будь-якій точці простору. Запишемо формулу для $n^{\text{ої}}$ кількості ВЕУ:

$$u = \sum_{i=1}^N \left[\frac{A_i}{r_i} \sin \left(\omega t - kr_n \right) \right]. \quad (4.36)$$

Розмірність величини (u), обчисленої за формулою (4.36), подано за абсолютними значеннями – в Паскалях. За допомогою виразу $L = 20 \lg p_i / p_0$ отримуємо розмірність у потрібних відносних величинах – дБ:

$$L = 20 \lg \frac{\sum_{i=1}^N \left[\frac{A_i}{r_i} \sin \left(\omega t - kr_n \right) \right]}{p_0}. \quad (4.37)$$

Розглянемо процес відбиття хвилі, наприклад від будинку, в якому знаходиться диспетчерський пункт ВЕС.

Пройшовши відстань r від ДШ до приймача (будинок), частина звукової хвилі відбивається, а друга частина, менша за інтенсивністю, проникає у будинок крізь стінку. На рисунках 4.24 – 4.25 наведено графічне зображення процесу проникнення звукової хвилі крізь стінку будинку до робочого місця диспетчера.

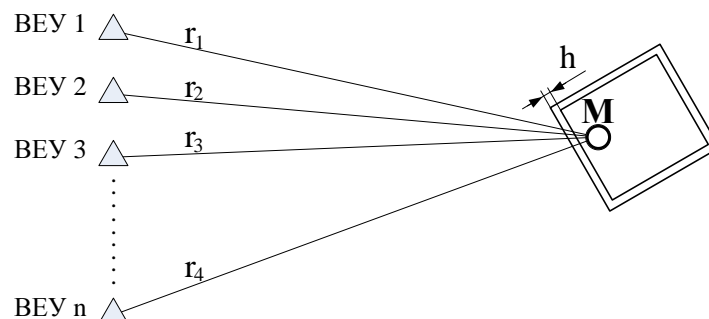


Рисунок 4.24 – Проникнення звукової хвилі в будинок:
h – товщина стінки будинку

Звукова хвиля падає на стінку під деяким кутом α_i , пройшовши крізь стінку, долає відстань r' до точки М.

Запишемо математичне рівняння поширення звукової хвилі u' для точок М у будинку для кожної з ВЕУ, з урахуванням коефіцієнта поглинання середовища розповсюдження

$$u' = \frac{T}{r} \sin \omega t - kr, \quad (4.38)$$

$$T = f\left(\frac{c_{\text{зв.ст.}}}{c_{\text{зв.пов.}}}\right), \quad (4.39)$$

де kr містить величини проходження хвилею таких відстаней:

r – від ДШ до стінки в повітрі;

h – крізь матеріал стінки з урахуванням коефіцієнта пропускання матеріалу;

r' – від стінки до точки М у повітрі,

$$kr = kr + \frac{\kappa}{n} \cdot r_{\text{ст}} + kr'. \quad (4.40)$$

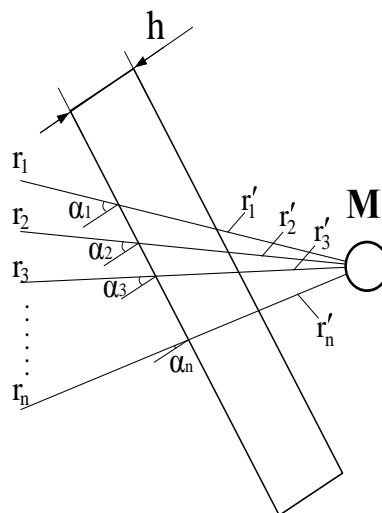


Рисунок 4.25 – Розповсюдження звукової хвилі від ВЕУ до будинку:

α_i – кут падіння хвилі на стінку будинку

Процес проходження хвилі крізь стінку будинку зображений на рисунку 4.26.

Виходячи зі співвідношення $\frac{\sin \Theta_i}{\sin \Theta_t} = \frac{v_2}{v_1}$, знаходимо $\sin \Theta_t$:

$$\sin \Theta_t = \frac{v_1 \sin \Theta_i}{v_2}, \quad (4.41)$$

де Θ_i , Θ_t – кут, під яким звукова хвиля падає на стінку та поширюється від неї.

У свою чергу, $r_{ct} = \frac{h}{\cos \Theta_t}$.

З головної тригонометричної тотожності отримаємо $\cos \Theta_t = \sqrt{1 - \left(\frac{v_1 \sin \Theta_i}{v_2} \right)^2}$. А підставивши цей вираз у r_{ct} , отримаємо формулу:

$$r_{ct} = \frac{h}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_1 \sin \Theta_i}{v_2} \right)^2}}, \quad (4.42)$$

де h – товщина стінки в будинку.

Хвильовий вектор в різних середовищах різний і визначається так:

$$k_1 = \frac{\omega}{v_1}, \quad k_2 = \frac{\omega}{v_2}. \quad (4.43)$$

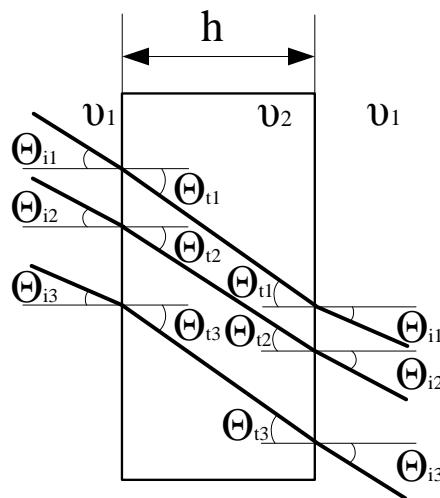


Рисунок 4.26 – Процес проходження звукової хвилі крізь стінку будинку

Коефіцієнт проходження звукової хвилі (Т) знаходимо за формулою Френеля:

$$T_p = \frac{\sin 2\Theta_i \sin 2\Theta_t}{\sin^2 \Theta_i + \Theta_t - \cos^2 \Theta_i + \Theta_t},$$

де Θ_i – кут падіння;

Θ_t – кут заломлення.

Зі співвідношення (3.40) випливає, що $\sin \Theta_t = \frac{v_i \sin \Theta_i}{v_t}$, а кут

$$\Theta_t = \arcsin\left(\frac{v_i \sin \Theta_i}{v_t}\right).$$

Виходячи з цього, знаходимо:

1. Коефіцієнт проходження (T_{pBC}) звукової хвилі з повітря в стінку:

$$T_{pBC} = \frac{\sin 2\Theta_i \left[2 \left(\frac{v_1 \sin \Theta_i}{v_2} \right) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v_1 \sin \Theta_i}{v_2} \right)^2} \right]}{\sin^2 \left(\Theta_i + \arcsin \left[\frac{v_1 \sin \Theta_i}{v_2} \right] \right) \cos^2 \left(\Theta_i - \arcsin \left[\frac{v_1 \sin \Theta_i}{v_2} \right] \right)}; \quad (4.44)$$

2. Коефіцієнт проходження (T_{pCB}) звукової хвилі з стінки у повітря (у виробниче приміщення):

$$T_{pCB} = \frac{\sin 2\Theta_t \left[2 \left(\frac{v_2 \sin \Theta_t}{v_1} \right) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v_2 \sin \Theta_t}{v_1} \right)^2} \right]}{\sin^2 \left(\Theta_t + \arcsin \left[\frac{v_2 \sin \Theta_t}{v_1} \right] \right) \cos^2 \left(\Theta_t - \arcsin \left[\frac{v_2 \sin \Theta_t}{v_1} \right] \right)}. \quad (4.45)$$

Підставивши отримані вирази у рівняння (3.39), отримаємо:

$$u'_1 = \frac{T_{pBC} T_{pCB}}{r_1 + r_{ct} + r_2} \sin \left(\omega t - \left(\frac{\omega r_1}{v_1} + \frac{\omega}{v_2} \frac{h}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_1 \sin \Theta_{i1}}{v_2} \right)^2}} + \frac{\omega r_2}{v_1} \right) \right). \quad (4.46)$$

Запишемо рівняння хвилі для n^{oi} кількості ВЕУ для точки М.:

$$u'_i = \sum_{i=1}^N \frac{T_{pBC_i} T_{pCB_i}}{r_i + r_{cti} + r_i} \sin \left(\omega t - \left(\frac{\omega r_i}{v_1} + \frac{\omega}{v_2} \frac{h}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_1 \sin \Theta_i}{v_2} \right)^2}} + \frac{\omega r_i}{v_1} \right) \right). \quad (4.47)$$

Отримані рівняння для процесів інтерференції (4.36) та проходження хвилі від ВЕУ крізь стінку до робочого місця (4.47) є ідеальним випадком, оскільки в них не враховується вплив метеорологічних умов та вплив поверхні землі.

4.5 Аналіз впливу параметрів вітру на процес розповсюдження звукових хвиль, випромінюваних ВЕУ

У реальних умовах досить часто звукова хвиля розповсюджується за наявності вітрових потоків. Одночасно параметри вітру будуть впливати на процес поширення хвилі (рис. 4.26). Для визначення ступеня такого впливу проведемо порівняльний аналіз впливу параметрів вітру на процес розповсюдження звукових хвиль, випромінюваних ВЕУ. Для цього на отриману розу вітрів (рис. 4.28) накладемо діаграми шумового випромінювання від ВЕУ. Результати дослідження наведені на рисунку 4.27.

З діаграм зрозуміло, що найбільш негативно є впливають, північно-східний та східний напрямки вітру. За наявності таких напрямків шумового випромінювання від ВЕУ буде посилюватися у напрямку вітру. Це спричинить збільшення зони випромінювання шуму від ВЕУ.

4.6 Визначення рівня шуму з урахуванням метеорологічних умов та впливу поверхні землі

Розрахунок рівня шуму проведемо відповідно до положень ГОСТУ 31295.2-2005 (ІСО 9613-2:1996) [75]. Пропонований метод розрахунку рівня звуку під час його розповсюдження на місцевості застосовується для прогнозування його рівня на відстані від джерела шуму з відомими параметрами випромінювання за визначених метеорологічних

умовах. Цей метод дає змогу розраховувати рівень звукового тиску в октавних смугах частот від 63 до 8000 Гц для точкового або групи точкових джерел шуму. Під час розрахунку враховується геометрична дивергенція, поглинання звуку атмосферою, вплив поверхні землі. Використання рівняння (4.37) у комплексі з положеннями ГОСТ 31295.2-2005 (ISO 9613-2:1996) дає змогу більш точно спрогнозувати можливий рівень шуму на відстані від ВЕУ як джерела шуму.

Еквівалентний рівень звукового тиску з підвітряної сторони $L_{\text{гг}}(\text{DW})$ на приймачі шуму розраховується для кожного із джерел з середньгеометричною частотою від 63 до 8 000 Гц за формулою:

$$L_{\text{гг}}(\text{DW}) = L + D_{\text{C}} + A, \quad (4.48)$$

де L – октавний рівень звукового тиску, визначений за формулою (4.37);

D_{C} – поправка, що враховує направленість точкового джерела шуму. Оскільки ВЕУ є ненаправленим ДШ, то $D_{\text{C}} = 0$;

A – затухання в октавній смузі частот під час поширення звуку від ДШ до приймача.

Затухання звукових хвиль (A) визначається так:

$$A = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{gr}} + A_{\text{bar}} + A_{\text{misc}}, \quad (4.49)$$

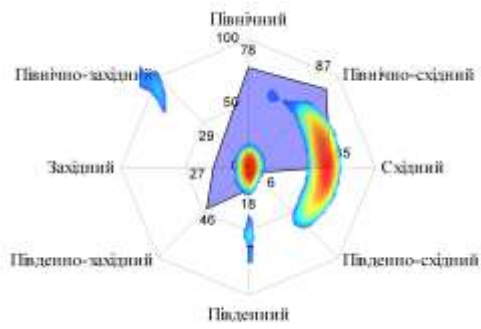
де A_{div} – затухання внаслідок геометричної дивергенції;

A_{atm} – затухання внаслідок звукопоглинання атмосферою;

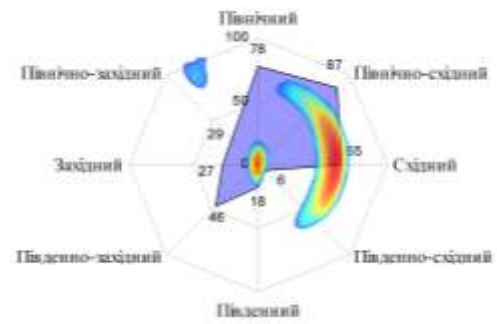
A_{gr} – затухання внаслідок впливу поверхні землі;

A_{bar} – затухання внаслідок екранування джерела шуму;

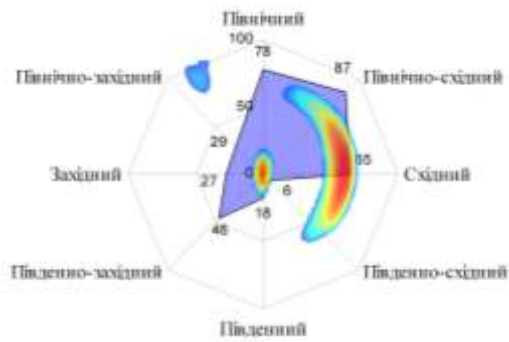
A_{misc} – затухання внаслідок впливу інших ефектів.



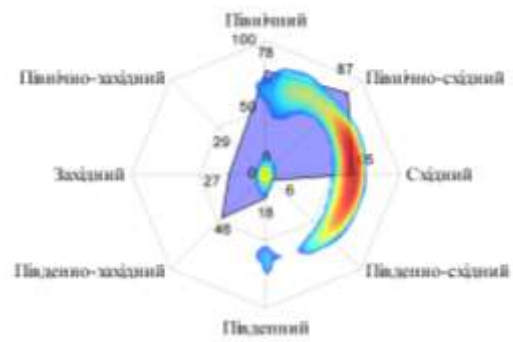
а)



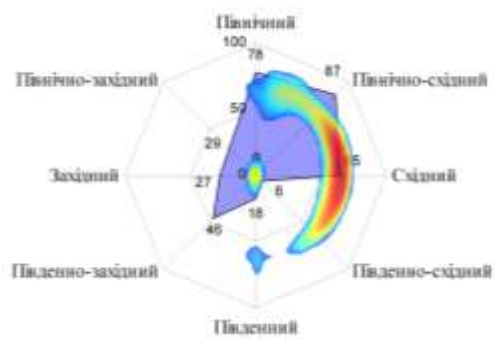
б)



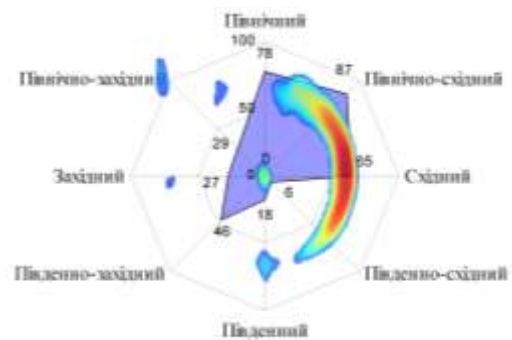
в)



г)



д)



е)

Рисунок 4.27 – Діаграми зв'язку шумоутворення від напрямком вітру на частотах:

а) 250 Гц; б) 500 Гц; в) 1000 Гц; г) 2000 Гц; д) 4000 Гц; е) 8000 Гц

4.6.1 Розрахунок додаткового затування звукової хвилі як наслідок дії ефектів, явищ, що спостерігаються під час її поширення

Виконаємо відповідні розрахунки й проаналізуємо додаткове затування звукової хвилі внаслідок дії вказаних вище ефектів та явищ, що спостерігаються під час її поширення: A_{div} – затування внаслідок геометричної дивергенції; A_{atm} – затування внаслідок звукопоглинання атмосферою; A_{gr} – затування внаслідок впливу поверхні землі; A_{bar} – затування внаслідок екранування джерела шуму; A_{misc} – затування внаслідок впливу інших ефектів.

Затування A_{bar} і A_{misc} у розглядуваному випадку аналізуватися не будуть, тому що екрани, вищі за ВЕУ, та розміри вітрополя на практиці не застосовуються, а затування внаслідок впливу інших ефектів (A_{misc}) у тому випадку буде незначним.

Розрахунок затування внаслідок геометричної дивергенції хвилі

Затування внаслідок геометричної дивергенції виникає через сферичне розповсюдження звуку від точкового ДШ у вільному звуковому полі. Величину цього затування розраховують за формулою:

$$A_{div} = 20 \lg \frac{d}{d_0} + 11. \quad (4.50)$$

де d – відстань від ДШ до приймача, м;

d_0 – опорна відстань ($d_0 = 1\text{ м}$);

11 – константа, яка пов'язує рівень звукової потужності ненаправленого ДШ з рівнем звукового тиску на опорній відстані d_0 від нього.

Затування внаслідок поглинання звукової хвилі в атмосфері

Затування внаслідок поглинання звукової хвилі в атмосфері (A_{atm}) на відстані d від ДШ визначають так:

$$A_{atm} = \frac{\alpha \cdot d}{1000}; \quad (4.51)$$

де α – коефіцієнт затування звуку в октавній смузі частот в атмосфері.

Затухання внаслідок впливу поверхні землі

Головною причиною затухання через впливу поверхні землі (A_{gr}) є інтерференція звукових хвиль, що відбиваються від неї. Під час поширення звуку за вітром затухання характеризується впливом поверхні землі поблизу ДШ та приймача звуку. Одночасно виокремлюються виділяють такі три зони: зона джерела; середня зона; зона приймача звуку (рис. 4.28).



Рисунок 4.28 – Три головні зони під час визначенні затухання внаслідок впливу поверхні землі

Загальне затухання внаслідок впливу поверхні землі в заданій октавній смузі частот визначається за формулою:

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m; \quad (4.52)$$

де A_s – затухання в зоні ДШ ($A_s = 1,5$);

A_r – затухання в зоні приймача ($A_r = 1,5$);

A_m – затухання в середній зоні ($A_m = 0$).

Величини цих затухань розраховують за формулами, що наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Формули для розрахування додаткових складових затухання звукової хвилі (A_S , A_r і A_m) в октавних смугах частот

Середньгеометрична частота октавної смуги, Гц	A_S або A_r , дБ	A_m , дБ
63	-1,5	$-3q^{**}$
125	$-1,5 + G \cdot a'(h)$	$-3q - G_m$
250	$-1,5 + G \cdot b'(h)$	
500	$-1,5 + G \cdot c'(h)$	
1 000	$-1,5 + G \cdot d'(h)$	
2 000	$-1,5 + G$	
4 000	$-1,5 + G$	
8 000	$-1,5 + G$	

Для розрахування величин затухання A_S і A_r приймаємо: для A_S у зоні ДШ – $G = G_S$ і $h = h_S$; для A_r в зоні приймача – $G = G_r$ і $h = h_r$.

Зі свого боку, $q^{**} = 0$, якщо $d_p \leq (30h_S + 30h_r)$; $q = 1 - \frac{30(h_S + h_r)}{d_p}$

за умови що $d_p > (30h_S + 30h_r)$.

Величини $a'(h)$, $b'(h)$, $c'(h)$, $d'(h)$ або так визначаються за графіками (рис. 4.29) розраховуються:

$$a'(h) = 1,5 + 3e^{-0,12 \cdot 5^{-\frac{2}{5}}} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}} \right) + 5,7e^{-0,09h^2} \left(1 - e^{-2,8 \cdot 10^{-6} \cdot d_p^2} \right);$$

$$b'(h) = 1,5 + 8,6e^{-0,09h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}} \right); \quad c'(h) = 1,5 + 14e^{-0,46h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}} \right);$$

$$d'(h) = 1,5 + 5e^{-0,9h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}} \right).$$

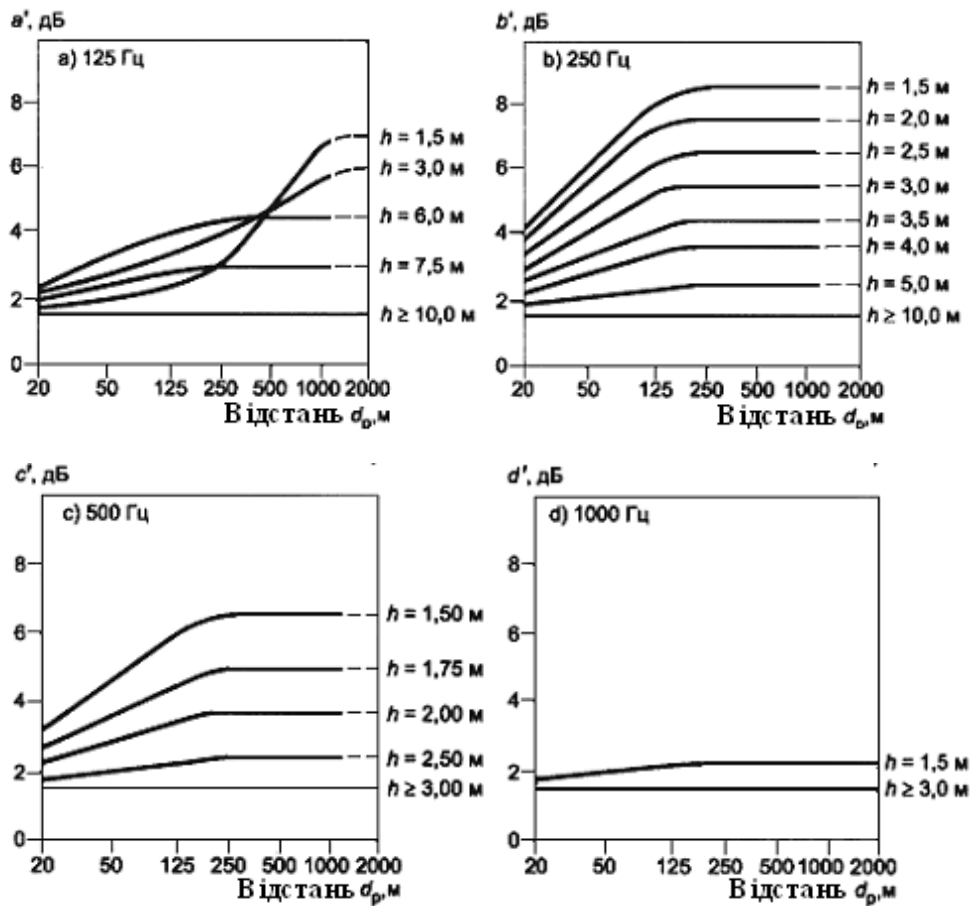


Рисунок 4.29 – Значення величин $a'(h)$, $b'(h)$, $c'(h)$, $d'(h)$ як функція проекції відстаней від точкового ДШ до приймача, середньої висоти ДШ, приймача h

4.7 Визначення похибки математичної моделі процесу розповсюдження звукової хвилі від ВЕУ в системі «Людина – ВЕУ – Середовище»

Похибка методики складається з похибки вимірювань та похибки розрахунків, що визначаються за формулою:

$$\delta_A = \sqrt{\delta_A^{\text{пр}^2} + \delta_A^{\text{вип}^2}}, \quad (4.53)$$

де: $\delta_A^{\text{пр}}$ – похибка приладу, яка вказана в його технічних характеристиках;

$\delta_A^{\text{вип}}$ – похибка вимірювань.

Похибка вимірювань визначається

$$\sigma_A^{\text{вип}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_A^2}{n(n-1)}}, \quad (4.53)$$

де n – кількість вимірювань;

δ_A^2 – середньоквадратичне відхилення, що визначається так:

$$\delta_A = a - \bar{a}. \quad (4.54)$$

До того ж

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \quad (4.54)$$

де \bar{a} – середнє значення вимірювань;

a – поточне значення вимірювань.

Допустимі похибки приладів, що використовуються під час вимірювань, умови (кліматичні, метеорологічні, технічні), технологія проведення вимірювань і оброблення отриманих результатів наведені у відповідних нормативно-технічних документах.

Висновки

Розроблено математичну модель, яка призначена для знаходження рівня звукового тиску в системі «Людина – Вітроенергетична станція – Середовище» на потрібній (обраній) відстані від вітроенергетичної установки як джерела шуму. Модель враховує головні закономірності процесу розповсюдження звукової хвилі і такі супутні явища та ефекти, як інтерференція, вплив поверхні землі, напрямок і швидкість вітру.

Модель дає змогу розрахувати рівень звукового тиску на необхідній відстані від джерела шуму, що є необхідним при проектуванні ВЕС з метою підвищення ефективності функціонування, збереження компонента «Середовище» системи «Людина – ВЕС – Середовище» шляхом зниження рівня шуму як негативного фактора.

Математична модель забезпечує розрахунок рівня звукового тиску на робочому місці для працюючих в системі «Людина – ВЕС – Середовище». Це забезпечує вирішення завдання з проектування необхідних засобів їхнього захисту працюючих від шуму і, отже, самим підвищення ефективності функціонування системи ЛТС.

Математична модель дає змогу визначити необхідну відстань між вітроенергетичними установками на вітроелектричній станції (ВЕС), що забезпечує вирішення завдання мінімізації рівня звукового тиску в розглядуваній системі ЛТС з урахуванням явища інтерференції. Це необхідне для зниження рівня негативного фактора шуму в системі «Людина – ВЕС – Середовище».

Розділ 5 ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ І ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТА НОРМАЛІЗАЦІЇ ЕРГОНОМІЧНИХ УМОВ У СИСТЕМІ «ПРАЦІВНИК–ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА– СЕРЕДОВИЩЕ» ЗА ФАКТОРОМ ШУМУ

Геоінформаційні технології і системи (ГІС) за останній час набули значного поширення. Спеціалісти та вчені різних галузей застосовують їх для вирішення локальних, регіональних і глобальних завдань з розвитку територій, використання природних ресурсів, охорони навколишнього середовища, забезпечення соціальної безпеки.

Виконаємо за допомогою геоінформаційних технологій ергономічне оцінювання акустичного середовища вітрополя ВЕС. Як інструментарій, що дозволяє наглядно представити і оцінити ситуацію, використаємо електронну карту місцевості. Електронна карта дає змогу відображати просторові об'єкти у вигляді шарів двох типів (рис. 5.1):

- шари векторних даних;
- шари растрових даних.

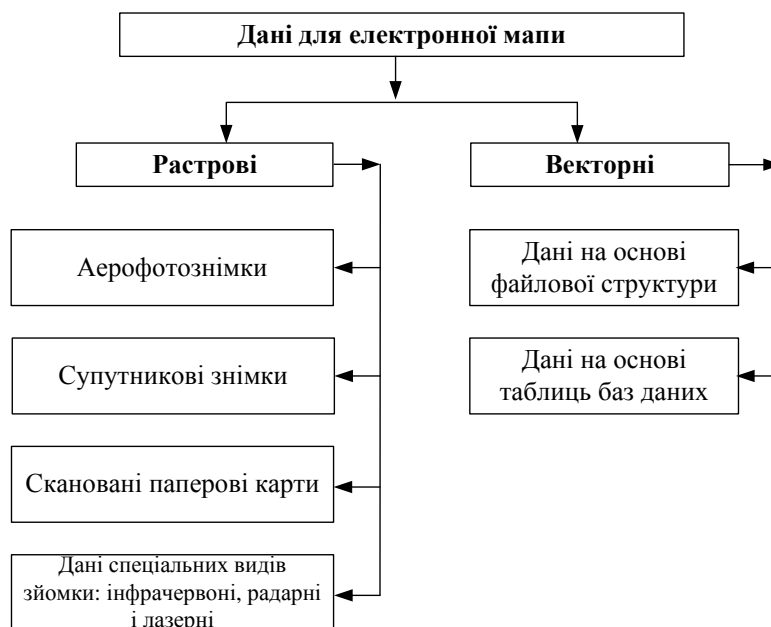


Рисунок 5.1 – Просторові дані

Векторні об'єкти на базі файлової структури

Векторні дані відображають об'єкти земної поверхні у вигляді наборів точок, ліній і багатокутників (полігонів) [67; 88; 89]. Таким чином, на відміну від растрового подання, як правило, на картах задають окремі, дискретні об'єкти, такі як будівлі, трубопроводи, межі земельних ділянок.

Векторні дані, зі свого боку, можна поділити на три типи. Кожен тип у ГІС зберігається переважно в окремому шарі або об'єднується разом з іншими за функціональним призначенням у кілька груп (рис. 5.2):

- дані про точкові об'єкти (репери, точки стояння, окремі ВЕУ);
- дані про лінійні об'єкти (річки, мережа шляхів);
- дані про полігональні об'єкти (населені пункти, окремі будівлі, межі зон шуму) [88, 89].

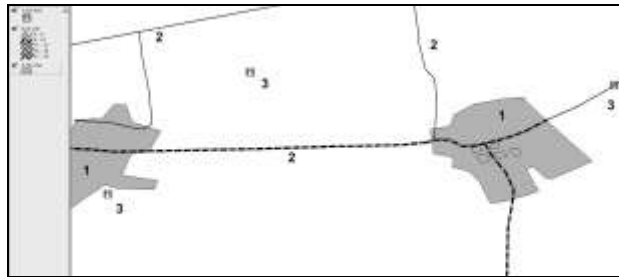


Рисунок 5.2 – Фрагмент зображення електронної карти, що містить три шари об'єктів різних типів:

1 – полігональні; 2 – лінійні; 3 – точкові об'єкти

Шейп-файл (Shape-files) – це один із базових форматів даних ГІС для програмних продуктів фірми ESRI. Шейп-файл є відомим і поширеним способом подання даних. Значна частина світових географічних даних на сьогодні зберігається в цьому форматі. У кожному шейп-файлі зберігаються об'єкти, що належать до однієї групи. Мова йде про те, що всі об'єкти всередині шару певного шейп-файлу можуть бути винятково точковими лінійними або полігональними [89].

У геоінформаційній системі кожний точковий об'єкт визначається двома координатами (X , Y) або, за наявності інформації про висоту місцевості в цій точці, – трьома (X , Y , Z). Лінійні об'єкти моделюються як набір вузлів, що задаються двома або трьома координатами. Ребра, що з'єднують вузли, визначаються у вигляді відрізків прямих ліній або криволінійних сегментів, які створюються, наприклад, за допомогою

сплайнів. Якщо планометричні координати (X , Y) першого й останнього вузлів збігаються, створюються межі замкненої багатокутної області, що визначає полігональний об'єкт. Таким чином, для точкових, лінійних і полігональних об'єктів у ГІС зберігаються винятково координати вузлів (рис. 5.3) [89]. Креслення ребер і дуг забезпечується відповідним алгоритмом побудови.

Фізично кожний векторний шар у шейп-форматі містить як мінімум три файли. Так, під час створення лінійного шару дорожньої мережі під назвою roads на диску він відобразиться у вигляді таких компонентів:

- файл roads.shp, у якому як набір сегментів дорожньої мережі зберігається просторова інформація про шар і його геометрію;
- файл roads.dbf, що є реляційною таблицею і містить атрибути об'єктів, які належать до файла roads.shp;
- файл roads.shx, що індексує атрибути таблиці roads.dbf і таким чином, прискорює доступ до її записів.

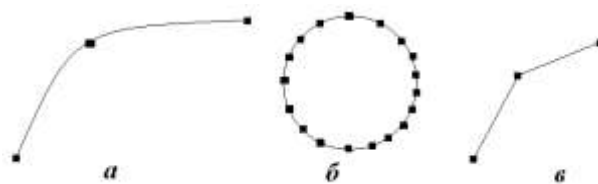


Рисунок 5.3 – Моделювання векторних об'єктів у ГІС [67; 89]:

- а – вузли лінійного об'єкта з'єднуються дугами за допомогою сплайна;*
- б – полігональний об'єкт, що є набором з'єднаних вузлів;*
- в – найпоширеніший спосіб з'єднання вузлів за допомогою лінійних сегментів*

Як бачимо, для доступу до шейп-файлів широко застосовуються технології баз даних. Від звичайних реляційних таблиць формату DBF подібне подання відрізняється наявністю додаткового атрибута в shp-складнику файла, що має ім'я shape та визначає просторові характеристики кожного об'єкта. З огляду на це, переваги формату полягають у використанні до атрибутивної інформації одного зі стандартних підходів доступу до технології баз даних – MICROSOFT ADO.

В програмі використовуються два допоміжні векторні шари (рис. 5.6):

- полігональний шар населених пунктів krym_city;
- лінійний шар доріг krym_roads.

<i>Shape</i>	<i>Fnode</i>	<i>Tnode</i>	<i>Lpoly</i>	<i>Rpoly</i>
PolyLine	134335	134336	22899	22895
PolyLine	134334	134336	1	1
PolyLine	134366	134340	22859	22891
PolyLine	134379	134366	22859	22949
PolyLine	134375	134383	22859	22859
PolyLine	134390	134375	22859	22859
PolyLine	134383	134408	22859	22859
PolyLine	134420	134377	22909	1

Рисунок 5.4 – Просторова й атрибутивна інформація шару roads, об'єднана в таблицю



Рисунок 5.6 – Фрагмент вікна програми, що містить векторні шари krym_city і krym_roads

З метою забезпечення необхідної функціональності карти, у програмі потрібно звернути увагу на спеціалізовані засоби розробки. Вирішення цього завдання передбачає розгляд низки варіантів, які різняться методами застосування технології ГІС [19; 24; 88; 89]. Перший підхід ґрунтується на використанні «штатних» засобів розроблення, убудованих у будь-яку геоінформаційну систему. Так, розповсюджений пакет ArcGIS пропонує, як засіб розроблення, VB Script – спрощену версію популярної мови Visual Basic. Ідеться про те, що будь-яке розроблення проводиться у вбудованому візуалізаторі пакета ArcGIS, що спрощує операції завантаження та подання просторових даних шляхом уніфікації користувацького інтерфейсу. Крім того, розробникам доступні всі засоби розроблення, бібліотеки й інструменти, на яких ґрунтується ядро цієї ГІС. Такий підхід, однак, не має гнучкості, властивій «автономним» засобам розроблення (Visual Studio, Delphi). Мова йде про ті випадки, коли геоінформаційний складник необхідно доповнити розширеними можливостями щодо роботи з базами даних, що застосовуються під час розрахунків. До того ж, під час роботи з просторовими даними розширене

програмування ГІС має надлишкову функціональність, яка, ймовірно, не знадобиться під час розроблення таких спеціалізованих моделей, як програма розрахунку шумового впливу від БЕУ.

З огляду на вищезазначене, оберемо за середовище розроблення MS Visual Studio і мову розроблення – Visual Basic 2005. Такий підхід дасть змогу використовувати широкий спектр сучасних NET-технологій програмування, пропонованих фірмою Microsoft, і розширення проектованої оболонки, завдяки спеціалізованій бібліотеці роботи з просторовими даними. Відмінним доповненням до реалізації функціональності ГІС є бібліотека MapObjects версії 2.0 фірми ESRI, яка має такі основні особливості:

- реалізація електронної карти у вигляді програмної компоненти та можливість використання цієї компоненти в середовищі програмування Visual Studio (мова програмування – Visual Basic та Visual C++), а також у середовищі розроблення Delphi;
- використання технології COM фірми Microsoft для доступу до властивостей і можливостей карти, що включають широкий набір функцій для управління шарами просторових даних;
- можливість роботи з шейп-файлами, створення, редагування та видалення об'єктів у векторних даних;
- можливість підключення до карти растрових шарів у форматі TIFF і JPEG.

Спрощену структуру бібліотеки MapObjects (рис. 5.7) можна подати у вигляді візуальної компоненти Map. Остання реалізує функціональність електронної карти у проекті й наборі об'єктів, що дає змогу керувати процесами створення, відображення та редагування шарів карти, а також вилучення атрибутної інформації з шейп-файлів [67].

Програма розрахунку рівня звукового тиску від БЕУ (далі – Карта-4) дає змогу на базі технологій геоінформаційних систем аналізувати на електронній карті місцевості можливі варіанти розміщення вітроенергетичних установок, розташування на карті зазначених об'єктів, будувати інтегральні зони поширення шуму для вибраних БЕУ і одержувати локальні характеристики зашумлення в окремих точках карти. Отримані дані можна залучити для подальшого аналізу оптимального розміщення групи БЕУ на місцевості.

5.1 Визначення параметрів моделі системи «працівник – вітроенергетична установка – середовище» і об’єктів електронної карти вітроелектростанції на основі реляційних таблиць системи управління базами даних ACCESS

Під час вибору раціонального варіанта розташування ВЕУ на електронній карті користувач розміщує окремі ВЕУ, обчислює вихідні параметри, зберігає дані їх розміщення та результати розрахунків у вигляді *моделі*.

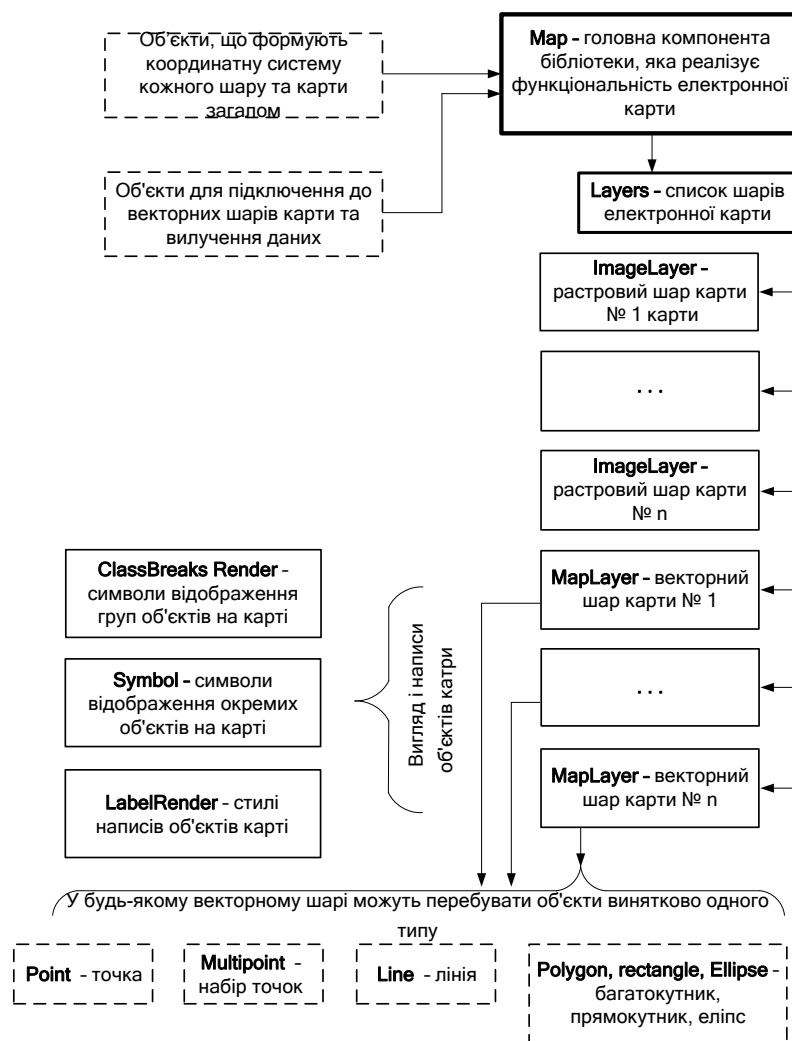


Рисунок 5.7 – Взаємозв’язок компонентів бібліотеки MapObjects 2.2, які використовуються для побудови електронної карти проекту [89]

Метадані кожної моделі зберігаються у вигляді реляційних таблиць СУБД ACCESS (рис. 5.8). З метою зберігання параметрів тієї частини моделі, в якій розрахунок шумових характеристик ведеться з огляду на метеорологічні умови, але без рельєфу місцевості, створено сім реляційних таблиць:

- 1) VL_Altitudes – містить висоти, для яких будуються горизонтальні перетини зон шуму;
- 2) VL_Distances – містить довжину траєкторії поширення звуку до приймача;
- 3) VL_FadingCff – зберігає результати розрахунків коефіцієнта згасання для шуму й інфразвуку;
- 4) VL_Frequency – містить середньгеометричні частоти f для шуму та інфразвуку, а також виміряні рівні звукового тиску на цих частотах;
- 5) VL_SndPress – зберігає дані результатів розрахунку звукового тиску та інфразвуку;
- 6) VL_System – містить системні змінні та дані, спільні для всіх моделей розрахунку;
- 7) VL_Models – зберігає список усіх моделей, створених у цій базі даних, і їхні параметри.
















 M2_Frequency	Модел 2. Среднегеометрич. частоти f шуму та виміри звук. давл. на цих частотах.
 M2_Times	Время на шкале волновой характеристики
 M2_WaveParams	Данные для построения волновых характеристик
 M3_WaveParams	Данные для расчетов внутри здания
 VL_Altitudes	Висоти на яких будуються горизонтальні перетини зон шуму
 VL_Distances	Довжини траєкторії розповсюдження звуку до приймача
 VL_FadingCff	Результати розрахунку коефіцієнтів загасання
 VL_Fans	Об'єкти ВЕУ в моделі
 VL_Frequency	Среднегеометрич. частоти f для інфразв. і шуму та виміри звук. давл. на цих частотах
 VL_Layers	Список шарів на електронній карті
 VL_Models	Параметри моделей розрахунку
 VL_Parcels	Зони і ділянки для яких проводиться моделювання
 VL_PrcNodes	Координати земельних ділянок, для яких проводиться моделювання
 VL_SndPress	Результати розрахунку звукового тиску
 VL_System	Системні і загальні для всіх моделей дані

Рисунок 5.8 – Список реляційних таблиць проекту, який відкритий в СУБД ACCESS

Друга методика, яка зважає як на метеорологічні умови, так і на вплив землі та геометричну дивергенцію, передбачає створення чотирьох реляційних таблиць:

1) M2_Frequency – містить середньгеометричні частоти f для шуму та рівень звукового тиску;

2) таблиця M2_Times, зберігає час на часовій шкалі хвильової характеристики;

3) таблиця M2_WaveParams – зберігає дані про розрахунок рівня шуму з огляду на метеорологічні умови, інтерференцію звукових хвиль від кожної БЕУ та вплив землі;

4) таблиця M3_WaveParams – зберігає дані про розрахунок рівня звукового тиску всередині виробничої будівлі.

Крім того, параметри кожної БЕУ, розташованої на карті, зберігаються в реляційній таблиці VL_Fans. У цій таблиці кожна БЕУ подана у вигляді точкового об'єкта й описана за допомогою таких атрибутів:

- координати X та Y в системі Гаусса-Крюгера;
- числовий ідентифікатор, який використовується як унікальний ключ таблиці;
- ідентифікатор моделі, в якій створена ця БЕУ;
- текстове поле, що містить опис імені БЕУ (для нанесення написів на електронній карті).

Метадані для інших просторових об'єктів електронної карти містяться в наступних таблицях:

1) VL_Layers – містить список растрових і векторних шарів електронної карти;

2) VL_Parcels – містить список полігональних об'єктів, що визначають межі зон розміщення БЕУ і шарів локальних факторів;

3) VL_PrcNodes – містить координати вузлів для об'єктів, заданих у таблиці VL_Parcels.

Результати розрахунку у вигляді коефіцієнтів затухання шуму й його звукового тиску відображатимуться в таблиці та VL_SndPress проекту.

Результати розрахунку у вигляді коефіцієнтів затухання звуку та рівня звукового тиску з огляду на вплив землі та інтерференцію відображатимуть в таблиці M2_WaveParams.

Результати розрахунку рівняння хвилі у виробничій будівлі зберігаються у таблиці M3 WaveParams.

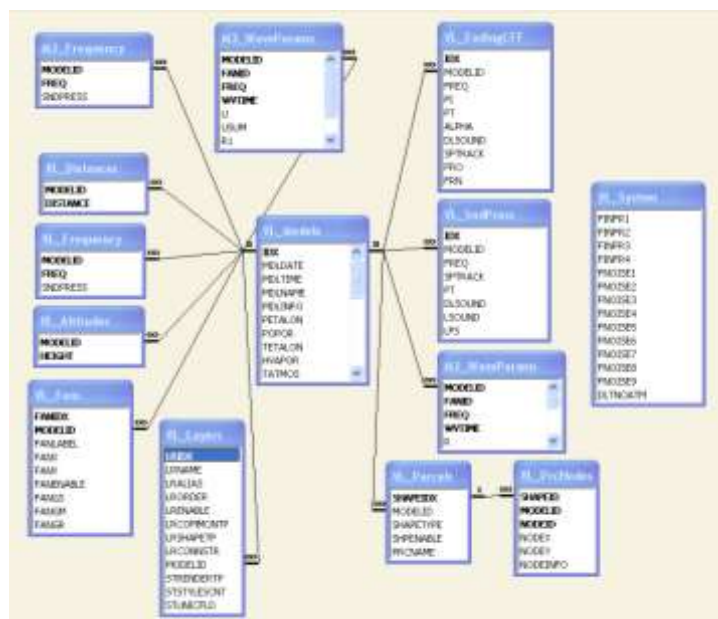


Рисунок 5.9 – Схема даних моделі, побудованої в СУБД ACCESS

5.2 Використання бібліотеки MapObjects для розроблення додатків ГІС, з метою візуалізації зон акустичного дискомфорту в системі «працівник –вітроенергетична установка – середовище» за фактором шуму

Вибір проекції електронної карти місцевості, на якій розташовано ВЕС. Під час моделювання на електронній карті важливо забезпечити коректність числових характеристик інтегральних зон шуму. У разі переходу від об'єктів реальної земної поверхні до плоскої моделі аркуша

карти можуть виникати помилки перепроєктування, що призводять до похибок в обчисленні площ інтегральних зон шуму величиною в десятки відсотків від початкових величин. Помилки потрібно мінімізувати. Досягти цього дає змогу відповідний вибір картографічної проекції. Так, спотворення форм, розмірів, площ і напрямків для об'єктів на електронній карті є мінімальним. У нашому проекті для відображення векторних і растрових шарів обрана проекцію Пулково – 1942 (один з різновидів проекції Гауса – Крюгера) [62, 63].

У бібліотеці розробки додатків ГІС MapObjects задана велика кількість типів для спроектованих і географічних координатних систем. З огляду на це подання шару в обраній системі програми Карта-4 варто вибрати потрібну константу й створити відповідний стандартний об'єкт координатної системи, всі параметри якого будуть установлені автоматично. Якщо принаймні один параметр створюваного об'єкта потрібно задати нестандартним, то доведеться пройти через створення всього складного ієрархічного ланцюжка об'єктів, що описують координатну систему (рис. 5.10).

Як бачимо, кожна спроектована система в MapObjects пов'язана з базовою географічною координатною системою. Інакше кажучи, вона вимагає задання таких параметрів, як радіус великої та малої осей сфероїда, ексцентриситет, номер первинної меридіани, одиниці вимірювання тощо. Під час перерахунку з однієї проекції в іншу необхідно зважити на те, що ці координатні системи можуть мати різні набори даних і параметри.

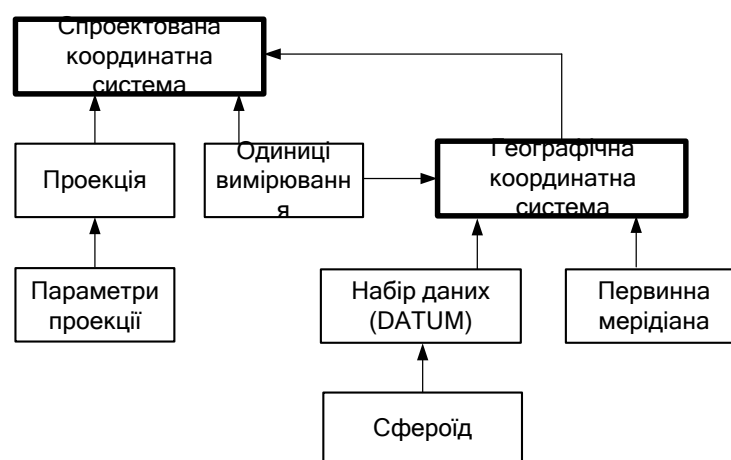


Рисунок 5.10 – Об'єкти, що формують координатну систему карти проекту

За допомогою константи `moGeoTransformation_Pulkovo1942_To_WGS1984` і зазначення напрямку трансформації (пряма або зворотна) здійснюється коректний перерахунок координат трансформації з однієї системи в іншу.

Підготовка растрових даних для Карты-4.

Растрові дані моделюють земну поверхню у вигляді прямокутної матриці пікселів. Таким чином, зручно подавати безперервні фрагменти місцевості та цілі регіони [61, 62, 63]. Растр зазвичай є результатом зберігання даних зйомки земної поверхні різних видів в одному з цифрових файлових форматів. Недоліком растрових даних є неможливість безпосереднього застосовування даних фотозйомки без спеціальної, достатньо трудомісткої підготовки, що полягає в перетворенні растра на проекцію електронної карти та призначенні відповідної координатної системи. Моделі Землі подають планету як сферу, еліпсоїд або геоїд. Використання паперових карт або відображень знімка земної поверхні на екрані монітора передбачає надання поверхні вигляду сфери або сфероїда на площині. З цієї метою використовуються картографічні проекції. Растр, перетворений на проекцію карти, подається в картографічній системі координат. Так, для певного зображення в системі Гауса – Крюгера вісь X – спрямована знизу до верху, вісь Y – зліва направо (одиниці вимірювання метри). Перед використанням растрів, як шарів електронної карти, в ГІС їх потрібно підготувати (рис. 5.11). Із вихідної піксельної системи координат знімок має бути переведений у систему координат, що відповідає проекції електронної карти. Вигляд, форма та розміри об'єктів на знімку мають задовольняти параметрам картографічної проекції. Мова йде про те, що весь знімок потрібно трансформувати у проекцію карти (рис. 5.11).

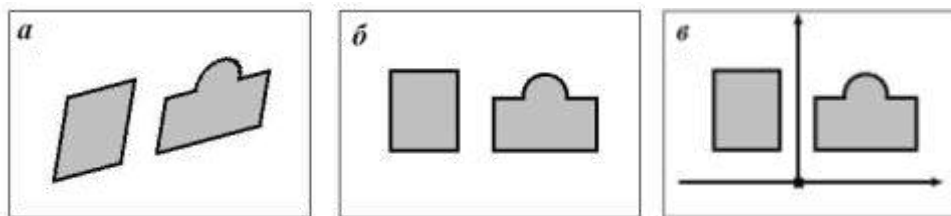


Рисунок 5.11 – Підготовка цифрового знімка для використання у програмі Карта-4:

а – вихідне зображення; б – трансформовання растра в картографічну проекцію; в – створення зв'язку трансформованого растра з системою координат карти

Векторні дані подібної підготовки не потребують, оскільки програма Карта-4 може виконувати трансформацію векторних даних під час завантаження.

Вибір проекції великомасштабної електронної карти має відповідати вимозі мінімізації спотворень за напрямками, розмірами, формами об'єктів, а також за відстанями й площами. З огляду на це у програмі Карта-4 використовується проекція Гауса – Крюгера з шестиградусними зонами, обмеженими меридіанами та базовим еліпсоїдом Красовського. У MapObjects така проекція називається Pulkovo. Початковій растр потрібно трансформувати в цю проекцію.

Отже, на зображенні за допомогою інструментів ГІС потрібно обрати та відзначити кілька точок з відомими координатами в тій системі, в яку буде трансформовано знімок після перетворення. У нашому випадку обрано систему координат у проекції Гауса – Крюгера. Такі точки називаються опорними.

Опорні точки – це розпізнані на цифровому зображенні групи пікселів, для яких відомі координати відповідних наземних об'єктів в одиницях вимірювання карти. Маємо на увазі те, що кожна опорна точка описується двома парами координат (X, Y) (рис. 5.12). Перша пара – це піксельні координати на вихідному знімку. Друга пара – опорні координати, визначені в обраній картографічній проекції.

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map
1	211,301571	-160,021026	6502000,000000	5096000,000000
2	803,147597	-160,747176	6512000,000000	5096000,000000
3	1512,552834	-163,651773	6524000,000000	5096000,000000
4	2341,193133	-166,556371	6538000,000000	5096000,000000
5	2339,137995	-875,735943	6538000,000000	5084000,000000
6	2337,685696	-1585,218083	6538000,000000	5072000,000000
7	2334,054949	-2294,716294	6538000,000000	5060000,000000
8	1742,769452	-2293,263996	6528000,000000	5060000,000000
9	914,156142	-2291,085547	6514000,000000	5060000,000000
10	203,895679	-2288,907099	6502000,000000	5060000,000000
11	205,347978	-1814,705402	6502000,000000	5068000,000000
12	208,978725	-750,115057	6502000,000000	5086000,000000
13	1156,991518	-635,888184	6518000,000000	5088000,000000
14	1865,461657	-1230,183707	6530000,000000	5078000,000000
15	1155,485583	-1227,493654	6518000,000000	5078000,000000

Рисунок 5.12 – Опорні точки в інструментах трансформування растрів ArcMap:

Атрибути XSource, YSource – піксельні координати опорних точок;

XMap, YMap – координати опорних точок у системі карти

У програмі Карта-4 трансформують растри, що є відсканованими варіантами паперових карт масштабу 1:200000. У цьому разі завдання вибору опорних точок спрощується завдяки наявності на вихідному зображенні координатної сітки та відповідних координат у потрібній проекції карти. Піксельні координати й відповідні координати карти знімають з початкового зображення. Зважаючи на це, процес геометричної трансформації даних містить такі кроки:

- нанесення за допомогою інструментів ГІС опорних точок на вихідний знімок і автоматичний запис до таблиці піксельних координат;
- занесення до таблиці координат опорних точок, знятих з координатної сітки карти;
- створення моделі й обчислення параметрів трансформування;
- створення вихідного растра у проекції карти;

Інструменти для трансформації растрів є в багатьох ГІС. З метою вирішення цього завдання використовують програму ESRI ArcMap 9.2. Системи поліномів використовуються для того, щоб виконати перетворення знімка з вихідної системи координат на систему координат карти [61, 62]. Після цього будується математична модель трансформування знімка. Залежно від похибок знімка, кількості та взаєморозташування опорних точок для побудови рівнянь трансформування можуть застосовуватися поліноми різного ступеня – першого, другого, а іноді й вище.

5.3 Використання інформаційних шарів карти, об'єктів бібліотеки MapObjects для підключення до векторних шарів і вилучення просторових даних

Модель розрахунку ВЕУ створено на електронній карті Кримського півострова. Просторові дані карти, які зберігаються в шейп-файлах, доступні у вигляді допоміжних векторних шарів (рис. 5.13):

- полігонний шар `krym_city`, що містить вибірку найбільш великих населених пунктів Кримського півострова;
- лінійний шар `krym_roads`, що містить вибірку дорожніх шляхів Кримського півострова.

Щоб отримати на електронній карті інформацію про об'єкти населених пунктів і дорожніх шляхів, необхідно забезпечити доступ до

атрибутивної інформації шейп-файлів, які містять зазначені шари [84, 85]. З цією метою в бібліотеці MapObjects існує набір об'єктів для підключення до векторних шарів карти й отримання даних (рис. 5.14).

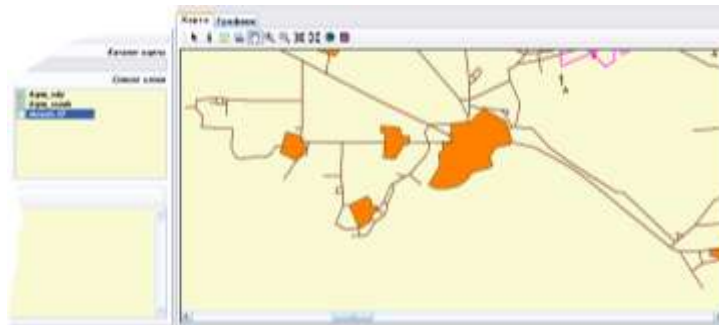


Рисунок 5.13 – Фрагмент вкладки «Проект», який містить векторні шари й електронну карту моделі

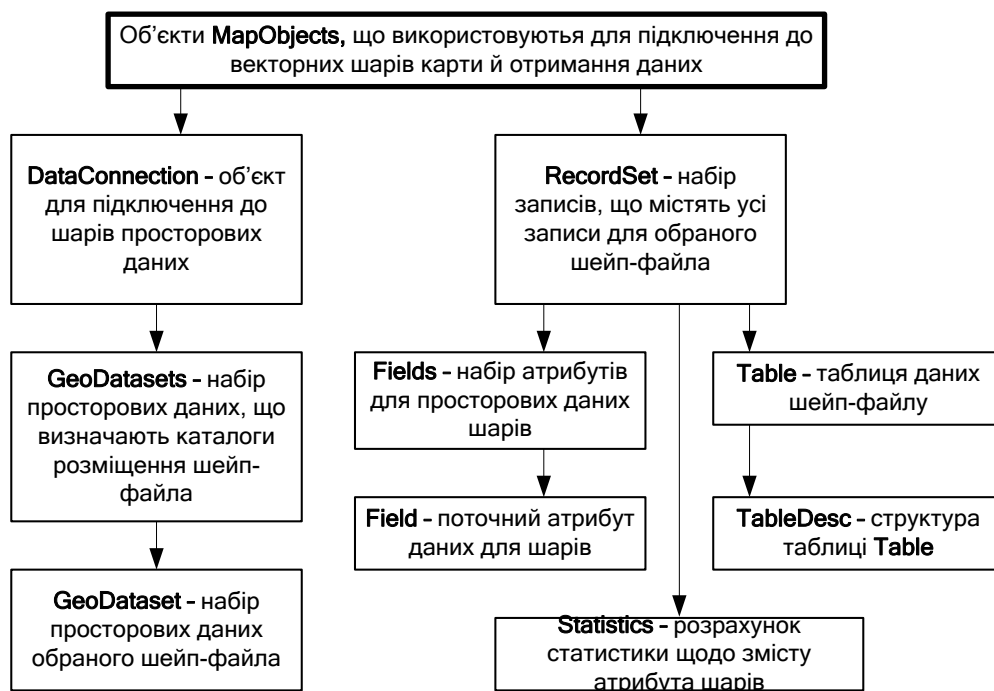


Рисунок 5.14 – Структура об'єктів MapObjects, що використовується для доступу до атрибутивної інформації шару

Бібліотека MapObjects має широкі можливості для роботи з атрибутами просторових даних. Так, можна редагувати структуру та вміст шейп-файлів, видаляти окремі об'єкти з набору записів шарів, змінювати геометричні характеристики об'єктів. На підставі системи об'єктів можливо створення потужного редактора шейп-файлів. Аналізована

модель не потребує редагування інформаційних шарів `krym_city` і `krym_roads`. З огляду на це, в роботі використовуємо винятково ту частину об'єктної моделі `MapObject`, яка реалізує доступ до атрибутивної інформації шару (вилучення назв населених пунктів, протяжність сегментів трас). Варто зазначити, що об'єкти `RecordSet`, `Fields`, `Field`, `Table` і `TableDesc` бібліотеки `MapObjects`, на відміну від одноіменних об'єктів у системі, мають іншу техніку використання `Microsoft ADO.NET`. У пропонуваній моделі реалізовано дві технології роботи з просторовими даними, які суттєво різняться. Перша – дані визначаються на базі файлової структури шейп-файлами, а друга – на базі реляційних таблиць СУБД `Microsoft Access`.

5.4 Вибір області навколишнього середовища для розміщення вітроенергетичної установки на підставі інформації, отриманої з шарів локальних факторів середовища

Модель визначення рівня звукового тиску містить дві методики: перша передбачає розрахунок поширення звуку з огляду на метеорологічні умови без рельєфу; друга – обчислення рівня шуму з огляду на метеорологічні умови, вплив землі та інтерференцію звукових хвиль. Подібне припущення можливе під час аналізу розміщення ВЕУ на місцевості, якою є Кримське узбережжя в районі міста Євпаторія, де зібрано матеріал дослідження. Наявність інформаційних шарів (дорожня мережа та населені пункти) унаочнює електронну карту моделі. Вони є джерелом додаткової інформації під час вибору варіантів розміщення ВЕУ на місцевості про таке:

- наявність населених пунктів поблизу місця розташування ВЕУ (для аналізу санітарних зон, норм рівня шуму);
- віддаленість пунктів розміщення ВЕУ від найближчих населених пунктів (для розміщення ВЕУ поза рекреаційними зонами міських територій і аналізу норм рівня шуму);
- наявність під'їзних шляхів для організації технічного обслуговування ВЕУ.

Реальні обсяги інформації, які необхідно взяти до уваги під час оптимального вибору регіонів розміщення ВЕУ, достатньо великі. Під час вирішення цього завдання варто скористатися активно розроблюваними

технологіями геоінформаційних систем в ХНУМГ ім. О. М. Бекетова групою науковців під керівництвом професора В. Д. Шипуліна, що застосовуються у процесі грошового оцінювання міських територій. Залучимо окремі частини моделі для вибору регіону розміщення ВЕУ.

Сутність технології полягає в тому, що створюються додаткові просторові дані – так звані шари локальних факторів. Кожен локальний фактор підвищує або знижує вартість земельної ділянки, яка потрапляє в зону дії цього фактора. Набір шарів, що задають регіони дії локальних факторів, може бути достатньо великим. Шари, які можна використовувати під час створення критеріїв розміщення ВЕУ на електронній карті є такі:

- зони перевищення допустимого рівня шуму;
- водоохоронні зони;
- санітарно–захисні зони;
- території природоохоронного призначення;
- зони небезпечних геологічних процесів;
- зони значної заболоченості;
- зони затоплення паводком;
- зони залягання ґрунтових вод на глибині менш ніж n метрів;
- зони схилу поверхні понад n % (або m^0);
- прирейкова зона.

Таким чином, потрібен інструмент для побудови зазначених зон на електронній карті й аналізу областей їхнього перекриття за регіонами, обраними для розміщення ВЕУ.

Унаслідок просторового аналізу й вибору ділянки, після виконання комплексу логічних операцій AND, OR, NOT над запропонованим регіоном розміщення та зонами локальних факторів, отримаємо складну область.

Логіка побудови результуючої області залежить від того, чи є кожна зона локальних факторів областю виключення, всередині якої не допускається розміщення ВЕУ, чи областю включення, що допускає розміщення ВЕУ всередині межі (рис. 5.15).

З метою виконання вимірювань безпосередньо на карті, в моделі запропоновано два інструменти: «вимірювання відстаней» і «вимірювання площ» (рис. 5.16).

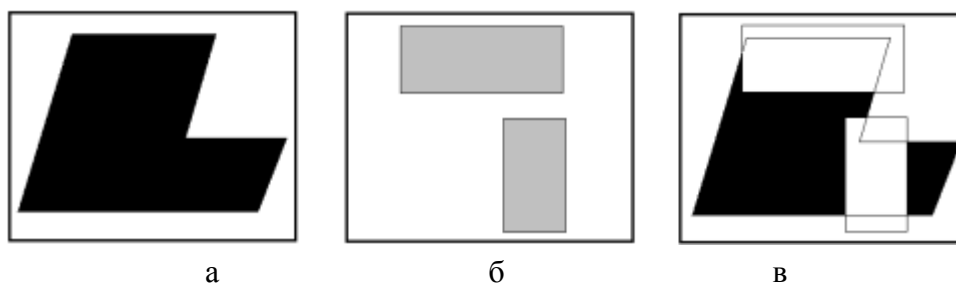


Рисунок 5.15 – Логіка побудови області розміщення ВЕУ з огляду на два локальних фактори:

а – початкова область; б – два шари локальних факторів, що обмежують розміщення ВЕУ всередині власних меж; в – результуюча область розміщення, одержана шляхом просторового поєднання початкової області з шарами локальних факторів і виконання операції виключення

Таким чином, можна оцінювати площі та периметри зон розміщення ВЕУ й зони локальних факторів.

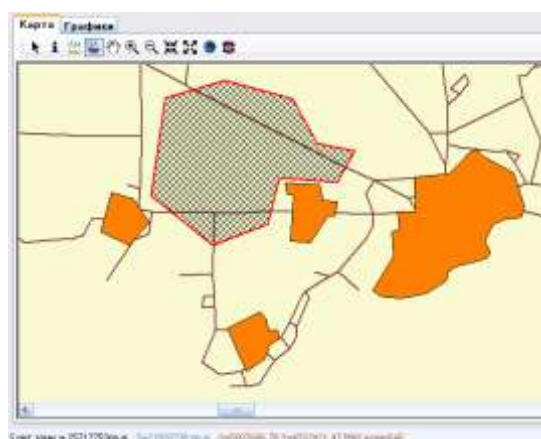


Рисунок 5.16 – Вимірювання площі полігональних об'єктів на карті моделі

Однак, найбільш правильним видається підхід, за якого можна отримати точні характеристики складної області розміщення групи ВЕУ, а також регіону, одержаного шляхом накладання на область зон поширення шуму, побудованих на підставі розрахункової моделі.

Варто зазначити, що з наукової й практичної позицій бажано отримати точне математичне рівняння подібної області, навіть у прихованому вигляді.

5.5 Побудова областей навколишнього середовища за допомогою математичного апарату R-функції для вибору місця розміщення вітроенергетичних установок з урахуванням локальних факторів

R-функція – це числова функція дійсних змінних, знак яких повністю визначається знаком аргументів за відповідного розбиття числової осі на інтервали $-\infty, 0$ і $0, \infty$ [61–63].

Результати дослідження на Донузлавській вітростанції указують на те, що електричну енергію виробляють ВЕУ середньої потужності з однаковими технічними характеристиками. Зважаючи на це зрозуміло, що характер розповсюдження акустичного випромінювання буде однаковим (рис. 5.17). Кожен із розглянутих об'єктів (ВЕУ) задається координатами власних вершин [61-63].

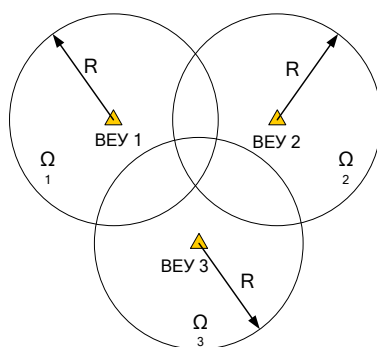


Рисунок 5.17 – Елементарні області Ω_1 , Ω_2 , Ω_3 акустичного випромінювання ВЕУ

Академік В. Л. Рвачов увів R-функції, якими скористаємося надалі. На першому кроці формуємо логіку побудови контурів об'єктів. Модельована область обмежена трьома колами з радіусами R . Сформуємо логічну формулу для інтегральної області Ω (рис. 5.18), утвореної елементарними областями акустичного випромінювання трьох ВЕУ:

$$\Omega = \overline{(\Omega_1 \cap \Omega_2 \cap \Omega_3)} \cup \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \Omega_3 \quad (5.1)$$

де Ω_1 , Ω_2 , Ω_3 – елементарні області ВЕУ 1, ВЕУ 2, ВЕУ 3.

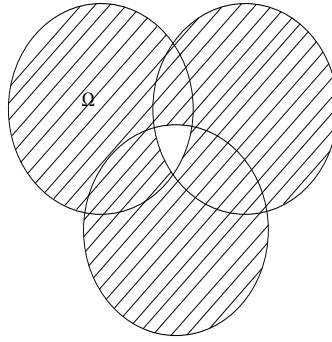


Рисунок 5.18 – Модельована область Ω

Запишемо нерівності, що визначають елементарні області:

$$\left. \begin{aligned} \Omega_1 &\equiv (R^2 - X_1^2 - Y_1^2) \\ \Omega_2 &\equiv (R^2 - X_2^2 - Y_2^2) \\ \Omega_3 &\equiv (R^2 - X_3^2 - Y_3^2) \end{aligned} \right\}, \quad (5.2)$$

де $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$ – елементарні області БЕУ 1, БЕУ 2, БЕУ 3;

R – радіус елементарних областей;

Отже (5.1) набуває такого вигляду:

$$\Omega = ((R^2 - X_1^2 - Y_1^2) \cap (R^2 - X_2^2 - Y_2^2) \cap (R^2 - X_3^2 - Y_3^2)) \cup (R^2 - X_1^2 - Y_1^2) \cup (R^2 - X_2^2 - Y_2^2) \cup (R^2 - X_3^2 - Y_3^2).$$

Операції кон'юнкції, диз'юнкції та заперечення які використовуються в R -функції, можна подати у вигляді таких функцій дійсних аргументів [64–67]:

$$\left. \begin{aligned} x \wedge y &= x + y - \sqrt{x^2 + y^2} \\ x \vee y &= x + y + \sqrt{x^2 + y^2} \\ \bar{x} &= -x \end{aligned} \right\}. \quad (5.3)$$

Запишемо за допомогою R -функцій область, яка відповідає об'єднанню областей Ω_1 і Ω_2 :

$$\begin{aligned} \Omega_{12} = \Omega_1 \cup \Omega_2 &= (R^2 - X_1^2 - Y_1^2) + (R^2 - X_2^2 - Y_2^2) + \\ &+ \sqrt{(R^2 - X_1^2 - Y_1^2)^2 + (R^2 - X_2^2 - Y_2^2)^2}. \end{aligned} \quad (5.4)$$

5.6 Програмна реалізація розробленої математичної моделі розрахунків рівнів звукового тиску в системі «працівник – вітроенергетична установка – середовище»

На основній панелі програми є кілька вкладок. Так, вкладка «Проект» (рис. 5.20) допомагає завантажити файл проекту й зберігати його у вигляді набору реляційних таблиць у базі даних ACCESS, а також керувати шарами, завантажуваними на електронну карту моделі.

148

відображення обраних шарів, установлюючи чи відключаючи відповідний перемикач на імені шару. Окрім того, є можливість обирати колір, який відображається як прозорий на растрах, що підвищує наочність фрагмента карти. Дані про каталог зберігання шарів і параметри проекції карти також відображаються на цій вкладці.

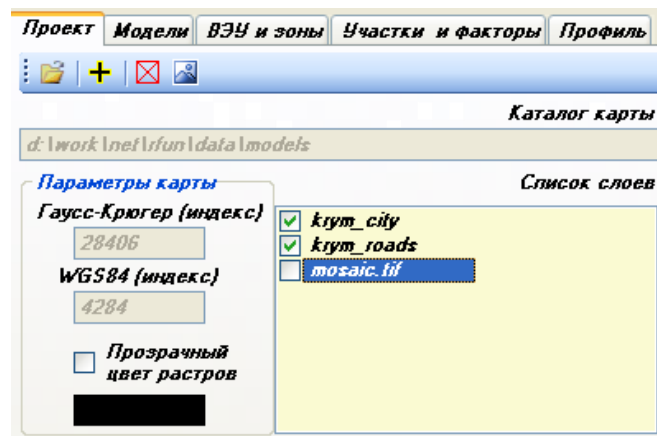


Рисунок 5.20 – Вкладка «Проект», з якої починається робота користувача з Картою-4

Вкладка «Модель» (рис. 5.21) має кілька важливих функцій. По-перше, можна обирати зі списку та завантажувати необхідну модель. Проект (база даних ACCESS) може містити кілька моделей, які різняться параметрами розрахунку, набором ВЕУ, наявних на карті.

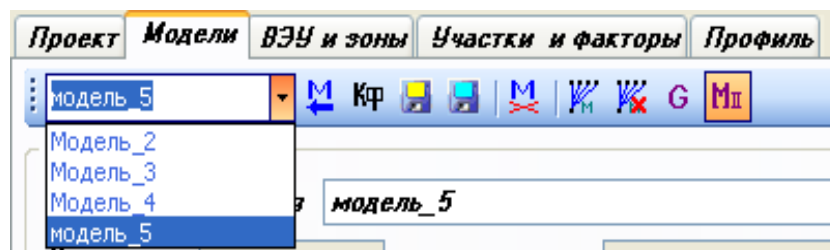



Рисунок 5.21 – Список моделей, що містяться у проекті, та набір інструментальних кнопок для виконання розрахунків і керування моделями

Вкладка містить такі кнопки:

 – завантажити обрану зі списку модель;

 – розрахувати коефіцієнти затухання та рівень звукового тиску без метеорологічних умов;



– зберегти модель;



– зберегти модель як ...;




– вилучити обрану модель із проекту;



– «Указать на карте точку замера М и вычислить расстояние (в метрах) от нее до каждой ВЭУ». Після натискання кнопка залишається в положенні натиснутої доти, доки не буде зазначено місце розташування т. М на карті. Координати т. М і відстань від неї до ВЕУ будуть занесені до налаштування моделі, а кнопка перейде у відтиснене положення;



– «Удалить с карты точку замера М и очистить список расстояний (в метрах) от нее до каждой ВЭУ». Цю кнопку натискають у тому разі, коли необхідно вилучити т. М з карти або задати нове місцеположення за допомогою ;



– «Скорректировать коэффициенты Gs, Gm, Gr», необхідні для розрахунку іншої моделі. Якщо відкрити проект і завантажити будь-яку модель, то з натисканням кнопки з'явиться вікно (рис. 5.22);

Коэфф. G отражения от поверхности Земли

Акустические характеристики поверхности в зонах источника (S), средней (М) и приемника (R) учитывают коэффициенты Gs, Gm, Gr отражения от поверхности земли. Для твердой поверхности (бетон, лед) G=0. Для пористой поверхности (голая почва, трава, деревья) G=1. Для смешанных поверхностей $0 < G < 1$ определяется как соотношение площадей поверхностей первого и второго типа. Соотношения вычисляют непосредственно на электронной карте при помощи инструмента измерения площадей и редактируют в этом окне.

№ ВЭУ	№ МОДЕЛИ	GS	GM	GR
1	2	0,7	1	1
2	2	1	0,5	1
3	2	1	0,9	1
4	2	1	1	0

OK Cancel

Рисунок 5.22 – Вікно, в якому відображаються коефіцієнти Gs, Gm, Gr



– «Открыть модель расчета затухания звука при распространении на местности».

Таким чином, на сформованій карті можна провести кілька розрахунків і за отриманими даними обрати оптимальну модель. Крім цього, можна зберегти модель під іншим іменем, створивши таким чином

нову модель, яка дозволяє редагування її параметрів. Можна також вилучити з проекту обрану модель, обравши її зі списку та натиснувши відповідну інструментальну кнопку.

Після обирання та завантаження моделі на цій панелі відображаються параметри відповідної моделі (рис. 5.23).

Рисунок 5.23 – Параметры для розрахунку характеристик шуму й інфразвуку обраної моделі

Після встановлення відповідних параметрів можна запустити модель на розрахунок. Результати розрахунку у вигляді коефіцієнтів затухання шуму й звукового тиску відображатимуться в таблиці VL_FadingCff та VL_SndPress проекту. Окремо виконується розрахунок для шуму та інфразвуку в діапазоні, відчутному для людини. Він відображається в чотирьох таблицях.

Масив розрахункових відстаней можна редагувати. Для кожного варіанту виконується розрахунок вихідних параметрів моделі (коефіцієнт затухання та звуковий тиск). З цією метою необхідно змінити зміст списку, в якому містяться розрахункові відстані, обравши відповідну дію із контекстного меню (рис. 5.24).

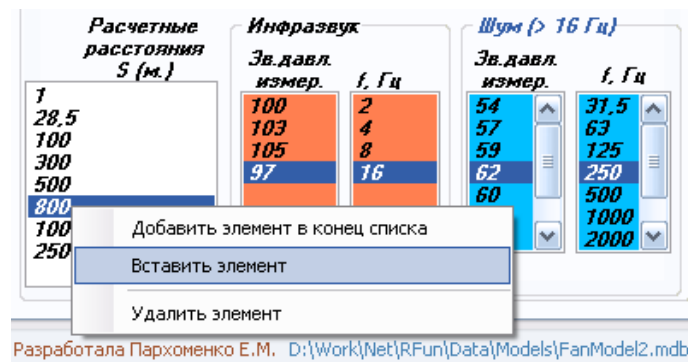


Рисунок 5.24 – Установлення нового елемента списку розрахункових відстаней

Після натискання кнопки **M2** вигляд вкладки «Модель» змінюється (рис. 5.25). Перед натисканням «розрахунок» можна скоригувати такі параметри: «Высота источника шума», «Высота приемника», «Опорное расстояние», «Скорость звука» та « r_0 ».

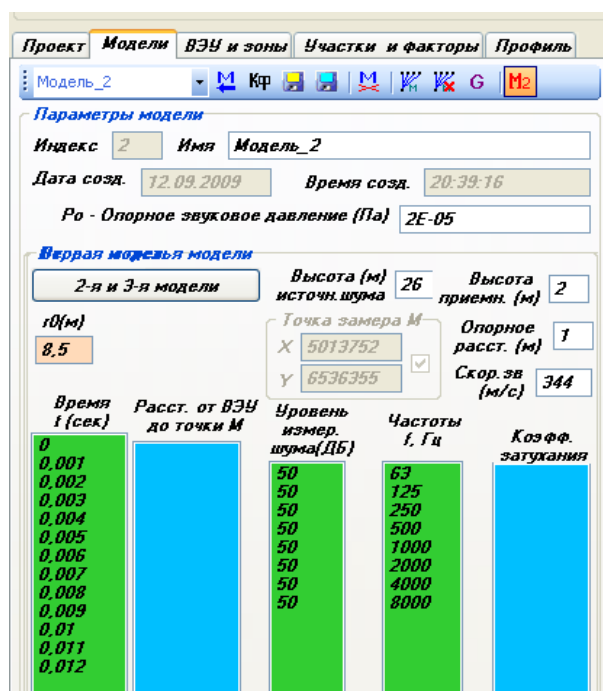


Рисунок 5.25 – Вкладка «Модель» після натискання кнопки **M2**

Після встановлення відповідних параметрів можна запустити модель на розрахунок (кнопка «2-я и 3-я модели»).

Після розрахунку другої моделі починається розрахунок третьої, яка враховує проходження звукових хвиль крізь стіну виробничої будівлі. З

цією метою відкривається діалогове вікно (рис. 5.26), в якому необхідно ввести параметри розрахунку (коефіцієнт проходження (μ_1) звукової хвилі з повітря у стіну виробничої будівлі та коефіцієнт проходження (μ_2) звукової хвилі з стіни виробничої будівлі в повітря виробничого приміщення).

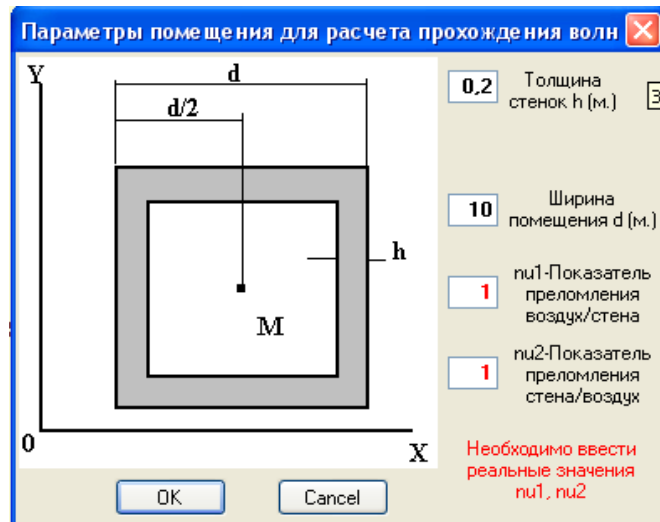


Рисунок 5.26 – Діалогове вікно

Після введення параметрів виконується розрахунок за розробленою методикою для визначення рівня звукового тиску у приміщенні виробничої будівлі з огляду на проходження звукової хвилі крізь стіну будівлі. Результати розрахунків зберігаються в таблиці бази даних, які можна побачити, натиснувши на вкладку «Прохождение через здание».

Для кожної ВЕУ будується стільки зон поширення шуму, скільки елементів задано у списку розрахункових відстаней. Щоб почати роботу з окремими ВЕУ, розташованими на карті, необхідно перейти на наступну вкладку (рис. 5.27).



Рисунок 5.27 – Інструментальна панель вкладки «ВЭУ и зоны»

Головна інструментальна панель вкладки «ВЭУ и зоны» містить кілька інструментальних кнопок:



 – виділити об'єкти ВЕУ на карті. У разі її натискання робоча поверхня карти переходить у режим, за якого за натискання лівої клавіші миші на необхідному ВЕУ об'єкт виділяється (рис. 5.28 а, б);



Рисунок 5.28 – Використання інструментальної кнопки виділення об'єктів ВЕУ:

а – ВЕУ не виділена, б – ВЕУ виділена

 – розмістити нову ВЕУ на карті (рис. 5.29). У разі вибору, з кожним натискання лівої клавіші миші на поверхні карти створюватиметься нова ВЕУ в зазначеній точці;

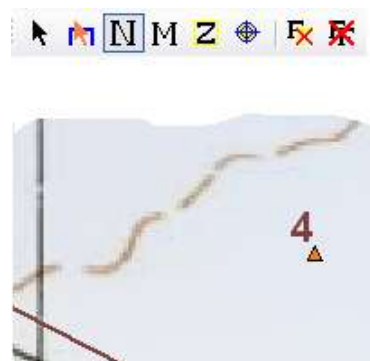



Рисунок 5.29 – Створення нової ВЕУ в моделі

 – перемістити виділену ВЕУ на карті. Після обирання курсор миші відображатиметься у вигляді двоспрямованих перехрещених стрілок. Натискання й утримання лівої клавіші миші над виділеним об'єктом задасть нове положення ВЕУ. Після переміщення курсора миші у визначену точку карти необхідно відпустити клавішу миші.


 – побудувати зони рівня шуму для всіх обраних ВЕУ (рис. 5.30).




Рисунок 5.30 – Побудова зон рівня шуму для обраних ВЕУ

Параметри побудови зон рівня шуму задаються в панелі цієї вкладки. Задаються висота (м), на якій будується поперечний зріз зони, частота (Гц), для якої виконаний розрахунок, і параметри відображення (прозора заливка, кути побудови).

Побудова зон проводиться винятково для тих установок, що наявні у компоненті «Список ВЭУ» на вкладці «ВЭУ и зоны». Кількість зон, що будуються на карті для кожної ВЕУ, дорівнює кількості розрахункових відстаней у відповідному списку «Модели». Кожна зона рівня шуму в діапазоні ближньої й дальньої межі відображається певним кольором (рис. 5.31). У напрямку від центру розміщення ВЕУ (зі збільшенням відстані від неї) рівень шуму зменшується. Під час відображення приймається, що в межах кожної зони рівень шуму не перевищує значень, зазначених на панелі «Диапазоны (дБ)» на вкладці «ВЭУ и зоны».



Рисунок 5.31 – Параметри побудови та діапазони рівня шуму в межах зон для кожної ВЕУ

 – розрахувати загальний (за всіма ВЕУ) рівень звукового тиску в зазначений точці карти. Для установок, обраних зі списку ВЕУ,

розраховуватиметься звуковий тиск у тій точці, яка визначена натисканням лівої клавіші миші на поверхні електронної карти. Розраховане значення з'явиться в інформаційному вікні (рис. 5.32). Додатково ця функція реалізується під час звичайного переміщення курсору миші на поверхні карти. На нижній інформаційній панелі водночас відображається значення звукового тиску в точці карти, що відповідає поточному положенню курсору миші.

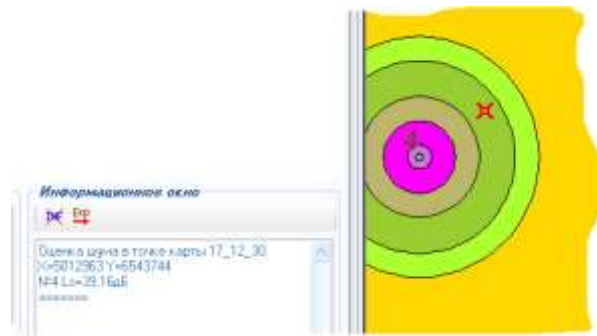




Рисунок 5.32 – Оцінювання шуму у зазначеній точці карти

 – Кнопка видалення однієї чи декількох ВЕУ, що виділені на електронній карті.

Вкладка «Участки и факторы» (рис. 5.33) використовується для побудови інтегральних зон рівня шуму, в межах обраного на карті регіону. До того ж інтегральну зону можна розрахувати та відобразити з огляду на локальні фактори, задані межами полігону, створені за допомогою інструментів Карты-4.



Рисунок 5.33 – Головна інструментальна панель вкладки «Участки и факторы»

 – «Добавить полигональный участок». Кнопка дає змогу створити на карті ділянку (у вигляді регіону розміщення ВЕУ або полігонального регіону, що визначають межі дії локальних факторів (рис. 5.34)) і додати до моделі розрахунку зон рівня шуму.

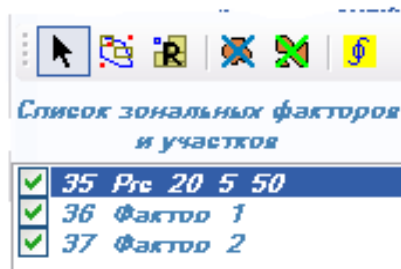


Рисунок 5.34 – Список полігонних об’єктів, що визначають межі регіонів розміщення ВЕУ та зон дії локальних факторів

У режимі додавання нової ділянки, вершини наносяться на поверхню карти під час кожного клацання лівою клавішею миші (рис. 5.35). Подвійне клацання лівою клавішею миші завершує побудову полігона.



Рисунок 5.35 – Три зони локальних факторів (ділянки), побудовані за допомогою інструментів Карти-4

  – видалити обрану зі списку ділянку або всі ділянки моделі.

Після створення регіону розміщення та зон локальних факторів можна переходити до побудови інтегральних зон рівня шуму обраних ВЕУ. Розрахунки можна проводити з огляду на різні локальні фактори.

1. У комп’ютерній технології розроблено п’ять алгоритмів, за якими будуються інтегральні зони шуму:

- побудова зони, в якій рівень звукового тиску навіть однієї ВЕУ перевищує значення LS_{max} , (розрахунок за першою моделлю);
- побудова зони, в якій рівень звукового тиску менший за значення LS_{max} (розрахунок за першою моделлю);
- побудова точки на рівновіддаленій відстані від ВЕУ, в якій рівень звукового тиску має значення LS_{max} (розрахунок за першою моделлю);

- побудова зони, в якій рівень звукового тиску перевищує або дорівнює значенню LS_{max} (розрахунок за другою моделлю);
- побудова зони, в якій рівень звукового тиску менший за значення LS_{max} (розрахунок за другою моделлю).

2. Побудувати інтегральну зону рівня шуму можливо винятково для тих регіонів, у яких коефіцієнт перекриття областей дії локальних факторів перевищує зазначене значення (рис. 5.36). Так, дослідити показники шуму можна за подвійного та більшого за значенням перекриття зон дії локальних факторів.

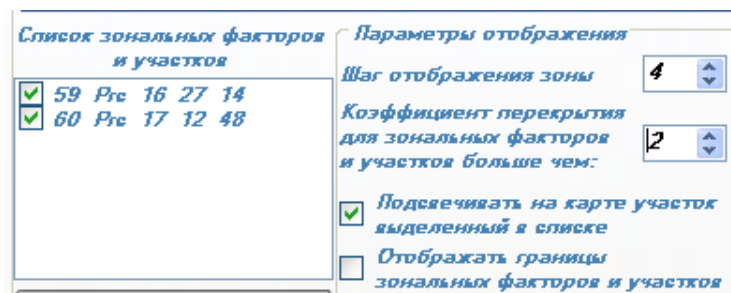


Рисунок 5.36 – Коефіцієнт перекриття зон дії локальних факторів (наприклад дорівнює нулю)

Розглянемо приклад розрахунку та побудови інтегральної зони шуму за таких умов:

- розрахунок проводиться для чотирьох вітроенергетичних установок;
- коефіцієнт перекриття зон дії локальних факторів більше 2;
- задано алгоритм побудови зон, у яких рівень шуму навіть однієї ВЕУ перевищує LS_{max} , а значення $LS_{max} = 5$ дБ;
- на карті визначені зони дії для трьох локальних факторів;
- логіка зв'язування трьох зон дії локальних факторів задається логічною операцією OR.

Щодо останньої умови варто зауважити, що в разі об'єднання трьох заданих областей за допомогою логічної зв'язки OR, усі три зони локальних факторів є областями увімкнення, що допускають розміщення ВЕУ всередині їхніх меж.

Отже, якщо окремі зони локальних факторів є областями виключення, всередині яких не допускається розміщення ВЕУ, у

початковому тексті програми слід змінити предикат логічної побудови інтегральної зони (рис. 5.37) [19]. Так, за умови, що одна із зон локальних факторів визначає на карті територію значної заболоченості, будь-які перетини регіону розміщення ВЕУ з цією зоною утворюють області виключення, на яких не допускається розміщувати ВЕУ.



Рисунок 5.37 – Побудова інтегральних зон шуму з огляду на дію трьох локальних факторів:

а – діапазон зон шуму для кожної з чотирьох ВЕУ за початкового розміщенні; б – інтегральна зона шуму

У додатку Г наведено методику визначення шумових характеристик вітроелектричної станції на відкритій місцевості та всередині виробничої будівлі. З її допомогою можна необхідні параметри шумового поля, на їх основі розробити необхідні заходи і тим самим забезпечити потрібні ергономічні умови в системі «працівник – вітроенергетична установка – середовище» для виробничого приміщення та навколишнього середовища. Одночасно є можливість визначення розмірів санітарно-захисної смуги.

Висновки

1. Проведено порівняльний аналіз наявних пакетів середовищ розробок для використання технологій геоінформаційних систем у вирішенні завдання візуалізації й оцінки шумового поля ВЕС. Як середовище розробки обрано MS Visual Studio і мову Visual Basic 2005.

2. Програма, що створена на основі розробленої математичної моделі, на базі технологій геоінформаційних систем дозволяє розрахувати рівень звукового тиску від ВЕУ в потрібній точці території; визначати рівень шуму з урахуванням інтерференції звукових хвиль, рівня шуму в приміщенні, затухання звукової хвилі при її проходженні крізь стіну виробничої будівлі.

3. Розроблена програма дає змогу проводити аналіз шумового поля на електронній карті місцевості, обирати можливі варіанти розміщення вітроенергетичних установок вітроелектричної станції та розташовувати на карті ВЕУ, виробничі будівлі, з умовою мінімізації рівня звукового тиску в системі «Л-Т-С».

4. Програма дозволяє задавати перелік і рівень допоміжних локальних факторів та будувати інтегральні зони рівня шуму для визначених ВЕУ, а також одержувати локальні характеристики зашумлення в системі «Л-Т-С» у зазначених точках карти території ВЕС за допомогою R-функцій.

5. Розроблена програма дає змогу прогнозувати рівень шуму в системі «Л-Т-С» на ВЕС, що будуються чи під час реконструкції наявних. Своєчасне зменшення впливу шуму в системі «Л-Т-С» дасть змогу керівництву ВЕС скоротити витрати на медичне обслуговування персоналу й знизити вплив шуму прилеглий на сельбищній території.

6. Зниження рівня шуму на території ВЕС і за її межами дасть змогу підвищити ефективність системи «Л-Т-С», мінімізувати розміри санітарно-захисної смуги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В. Эргономика : Учеб. пособ. / В. В. Адамчук. – М. : Юнити-Дана, 1999 – 254 с.
2. Агеев В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : курс лекций / В. А. Агеев. // Кафедра теплоэнергетических систем – Саранск : Нац. исслед. Морд. гос. Ун-т им Н. П. Огарёва, 2004. – Режим доступа : http://winder.ua/books/netradicionnye_istochniki.pdf.
3. Аксёнова О. Т. Основы акустики : [учеб.-метод. комплекс по дисциплине для студ. очной и заочной сокр. форм обучения по специальности 280101 – Безопасность жизнедеятельности в техносфере] / О. Т. Аксёнова. – Благовещенск : Амурс. гос. ун-т, 2008. – 46 с.
4. Артамонова В. Г. Профессиональные болезни : [учеб. для студ. мед. вузов] / В. Г. Артамонова, Н. Н. Шаталов – Казань : Медицина, 1996. – 432 с.
5. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії [Електронний ресурс] / [Авт. кол. : С. О. Кудря, Л. В. Яценко, Г. П. Душина та ін.] // НАН України, Держ. комітет України з енергозбереження. – К. : Ін-т електродинаміки, 2001. – 41с. – Режим доступу : http://www.intelcenter.com.ua/rus/library/atlas_alten_UA.htm.
6. Байцерович А. Ветроэнергетика Украины перспектива развития на ближайшие 20 лет [Электронный ресурс] / А. Байцерович // ЭКСО-17 – энергия для устойчивого развития. – режим доступа : www.group-global.org/ru/lecture/view/16413.
7. Безруких П. П. Экономика и возможные масштабы развития нетрадиционных возобновляемых источников энергии / П. П. Безруких. – М. : Изд-во ин-та нар.-хоз. прогнозирования, 2002. – 77 с.
8. Бобин Е. В. Борьба с шумом и вибрацией на железнодорожном транспорте / Е. В. Бобин. – М. : [3-е изд., перераб. и доп.]. – Транспорт, 1973. – 304 с.
9. Борьба с шумом на производстве : Справ. / [Е. Я. Юдин, Л. А. Борисов, И. В. Горенштейн и др.] ; под общ. ред. Е. Я. Юдина – М. : Машиностроение, 1985. – 400 с.
10. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М. : Наук, 1978. – 400 с.

11. Васильев Ю. С. Экология использования возобновляющихся энергоисточников / Ю. С. Васильев, Н. И. Хрисанов. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. – 343 с.
12. Великобритания начала борьбу с ветряными мельницами [Электронный ресурс] MIGnews.com.ua media international group. – Режим доступа : <http://archive.mignews.com.ua/articles/108150.html>.
13. Вітроенергетика [Электронный ресурс] // Енергетика і закон – Режим доступа: <http://energy-mk.com/greenenerg/>.
14. Вайнштейн Л. А. Эргономика: учеб. пособ. / Л. А. Вайнштейн. – М. : ГИУСТ БГУ, 2010. – 399 с.
- 15.. Гладких П. А. Борьба с шумом и вибрацией в судостроении / П. А. Гладких. – Л. : Судостроение, 1970. – 176 с.
16. Геоинформатика : [учеб. для студ. высш. учеб. заведений] : в 2 кн. / [Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.] ; под ред. В. С. Тикунова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Изд.-ий центр «Академия», 2008. – Кн. 1. – 384 с.
17. Географічна інформація : еталонна модель (ISO 19101:2002) : ДСТУ ISO 19101:2002(Е) – Чинний від 2005-06-01). – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 65 с. – (Національний стандарт України).
18. Градостроительные меры борьбы с шумом / [Г. Л. Осипов, Б. Г. Прутков, И. А. Шишкин, И. Л. Карагодина]. – М. : Стройиздат, 1975. – 215 с.
19. Гюлев Н. У. Особливості ергономіки та психофізіології в діяльності водія: навч. посібник / Н. У. Гюлев. – Х. : ХНАМГ, 2012. – 185 с.
20. Даценко І. І. Профілактична медицина. Загальна гігієна з основами екології / І. І. Даценко, Р. Д. Габович. – К. : Здоров'я, 1999. – 694 с.
21. Давідіч Ю. О. Ергономічне забезпечення транспортних процесів : навч. посібник / Ю. О. Давідіч, Є. І. Куш, Д. П. Понкратов. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 392 с.
22. Дмитриев Г. С. Что несёт с собой развитие ветроэнергетики (экологические аспекты) / Г. С. Дмитриев // Энергия : экономика, техника, экология: журн. Президиума РАН – М., 2004. – № 8. – С. 11 – 19.

23. Завадский В. Ю. Моделирование волновых процессов / В. Ю. Завадский. – М. : Наука, 1991. – 248 с.
24. Завьялова М. П. Природа вихревого звука в ветроэнергетике / М. П. Завьялова, Г. И. Сокол // Людина і космос : матер. VII міжнар. молод. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 13 – 15 квітня 2005 р.). – Д. : НЦАОМУ, 2005. – С. 15.
25. Зарембо Л. К. Введение в нелинейную акустику / Л. К. Зарембо, В. А. Красильников. – М. : Наука, 1966. – 521 с.
26. Защита от шума в градостроительстве : справ. проектировщика / [Г. Л. Осипов, В. Е. Коробков, А. А. Климухин ; под ред. Г. Л. Осипова. – М. : Стройиздат, 1993. – 96 с.
27. Защита от шума технологического оборудования ОАО «ГАЗПРОМ» : СТО Газпром 2-3.5-043-2005. – [Действующий от 2005-11-10]. – М. : Госстандарт России, 2003. – 12 с.
28. Зиман Г. А. Курс общей физики. Механика, молекулярная физика, колебания и волны : в 2 т. / Г. А. Зиман, О. М. Тодес. – М. : Наука, 1974. – Т.1. – 336 с.
29. Ивович В. А. Защита от вибрации в машиностроении / В. А. Ивович, В. Я. Онищенко. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
30. Инвестиционное предложение «Сооружение и эксплуатация ветроэлектростанций на мысе Толстом» [Электронный ресурс] // электрон. журн. энергосервис компании «Экологические системы». – 2008. – №37. – Режим доступа : http://www.kfp.com.ua/inv_sud/wind.php.
31. Карагодина И. Л. Борьба с шумом в городах / И. Л. Карагодина, Г. Л. Осипов, И. А. Шишкин. – М. : Медицина, 1972. – 158 с.
32. Карась В. І. Математичне моделювання у світлотехніці : навч. посіб. / В. І. Карась, Л. А. Назаренко, І. В. Карась. – Х. : ХНАМГ, 2008. – 227 с.
33. Конеченков А. Є. Відновлювана енергетика світу / А. Є. Конеченков, В. В. Пирогов // Зелена енергетика. – К. : ЕКОінформ, 2005. – № 1 (17). – С. 45.
34. Кравцов В. С. Неисчерпаемая энергия. Ветроэнергетика / В. С. Кравцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Х. : ХАИ, 2004. – 519 с.

35. Крупей Н. Ветровой потенциал Украины. Перспективы развития украинской ветроэнергетики [Электронный ресурс] / Н. Крупей. – режим доступа : http://energs.net/article/read/vetrovoy_potentsial_ukrajinu.html.
36. Крылов А. А. Эргономика / А. А. Крылов, Г. В. Суходольский. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1988. – 184 с.
37. Манухина С. Ю. Инженерная психология и эргономика : хрестоматия : учеб.-метод. комп. / С. Ю. Манухина – М. : изд. центр ЕАОИ, 2009. – 224 с.
38. Маляренко В. А. Энергетика і навколишнє середовище / В. А. Маляренко. – Х. : САГА, 2008. – 364 с.
39. Математическое моделирование и эксперимент / Г. Я. Любарский, Р. П. Слабоспицкий, М. А. Хажмурова, Р. И. Адушкина. – К : Наукова думка, 1987. – 160 с.
40. Марфін М. І. Фактори, які впливають на працездатність, безпеку праці, життя та здоров'я робітників при роботі на висоті / М. І. Марфін // Вісн. Нац. Наук.-дослід. ін-ту охорони праці К. : ВННДІП, – 2006. – №17. – С. 11 – 16.
41. Методы измерения шума на рабочих местах : ГОСТ 12.1.050 -86. – [взамен ГОСТ 20445-75. ; Действующий от 1987-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 17 с.
42. Методи визначення шумових характеристик. Загальні вимоги : ДСТУ ГОСТ 23941-2004. – [взамін ГОСТ 23941-2002. ; чинний від 2003-01-01] – К. : Держспоживстандарт, 2002. – 11 с.
43. Метод R-функций в задачах об изгибе и колебаниях пластин в сложной формы / В. Л. Рвачев, Л. В. Курпа, Н. Г. Склепус, Л. А. Учишвили. – К. : Наукова думка, 1973. – 124 с.
44. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Классификация : ГОСТ Р 51990-2002 [Действующий от 2002-11-25]. – М. : Госстандарт Россти, 2003. – 12 с.
45. Новак С. М. Защита от вибрации и шума в строительстве : справ. / С. М. Новак, А. С. Логвине. – К. : Будівельник, 1990. – 184 с.
46. Осипов Г. Л. Защита зданий от шума / Г. Л. Осипов. – М. : Стройиздат, 1973. – 216 с.
47. Осипов Г. Л. Шумы и звукоизоляция / Г. Л. Осипов. – М. : Стройиздат, 1967. – 104 с.

48. Охрана и оптимизация окружающей среды / [А. А. Лаптев, С. И. Приёмов, И. Д. Родичкин, Ю. Р. Шемшученко]; под ред. А. А. Лаптева. – К. : Либідь, 1990. – 256 с.
49. Охрана окружающей среды : [учеб. для техн. спец. вузов] / [С. В. Белов, Ф. А. Барбинов, А. Ф. Козьяков и др.] ; под ред. С. В. Белова. – [2-е изд., испр. и доп.]. – М. : Высшая школа, 1991. – 319 с.
50. Основы организации труда на предприятии : учеб. пособ. Под ред. А. И. Рофе. – М. : Знание, 1994. – 184 с.
51. Патракеєв І. М Транспортно-навігаційні ГІС : [конспект лекцій для студ. 5 курсу денної форми навч. спец. 7.070908, 8.070908 «Геоінформаційні системи і технології»] / І. М. Патракеєв. – Х. : ХНАМГ, 2009. – 127 с.
52. Поболь О. Н. Шум в текстильной промышленности и методы его снижения / О. Н. Поболь. – М. : Лёгпромбытиздат, 1987. – 144 с.
53. Пospelов П. И. Борьба с шумом на автомобильных дорогах / П. И. Пospelов. – М. : Транспорт, 1981. – 88 с.
54. Потенциал ветровой энергии в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://esco-ecosys.narod.ru/2005_11/art07_71_1.htm.
55. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 р. № 555-IV // Відомості Верховної Ради України. – К., 2003. – № 24. – ст. 155. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=555-15>.
56. Про будівництво вітрових електростанцій : Указ Президента України від 15.06.94 р. № 415 // Відомості Верховної Ради України. – К., 1998. – № 1. – ст. 1. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/415-94-%D0%BF>.
57. Про будівництво вітрових електростанцій в Україні : Указ Президента України від 02.03.1996 р. № 159/96 [Електронний ресурс] // Офіційний веб-сайт Верховної ради України. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=159%2F96&page=1#2>.
58. Про електроенергетику : Постанова Верховної Ради України від 16 жовтня 1996 р. № 575/97-ВР // Відомості Верховної Ради України. – К., 1998. – № 1. – Ст. 1 Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=575%2F97-%E2%F0>.

59. Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» щодо гарантування зобов'язань держави щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії : Постанова Верховної Ради України від 03 червня 2011 р. № 3486-17-ВР // Відомості Верховної Ради України. – К., 2003. – № 52. – Ст. 378 – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3486-17>.

60. Програма Державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики : Постанова Кабінету Міністрів від 31 грудня 1997 р. № 1505 // Відомості Верховної Ради України. – К., 1997. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1505-97-%EF>.

61. Рвачёв В. Л. Алгебра логики и интегральные преобразования в краевых задачах / В. Л. Рвачев, А. П. Слесаренко. – К. : Наукова думка, 1976. – 286 с.

62. Рвачёв В. Л. Геометрические приложения алгебры логики / В. Л. Рвачёв. – К. : Техніка, 1967. – 212 с.

63. Рвачёв В. Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения / В. Л. Рвачев, Л. В. Курпа. – К. : Наук. думка, 1982. – 535 с.

64. Руководство по проектированию санитарно-защитных зон промышленных предприятий. – М. : Стройиздат, 1984. – 52 с.

65. Самойлюк Е. П. Борьба с шумом и вибрацией в промышленности / Е. П. Самойлюк, В. В. Сафонов. – К. : Вища школа, 1990. – 166 с.

66. Самойлюк Е. П. Борьба с шумом в градостроительстве / Е. П. Самойлюк. – К. : Будівельник. – 1975. – 125 с.

67. Санітарні правила планування та забудови населених пунктів : ДСН №173, затв. гол. держ. сан. лікарем України від 19.06.96 р. / Мін-во охорони здоров'я України. Головне санітарно-епідеміологічне управління – К. : 1996. – 56 с.

68. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : ДСН 3.36.037–99. / Мін-во охорони здоров'я України. Головне санітарно-епідеміологічне управління. – К. : 1999. – 79 с.

69. Сиздикбеков А. С. Защита жилой застройки от шума промышленных предприятий: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» / А. С. Сиздикбеков – М., 1983. – 19 с.

70. Системи турбогенераторні вітряні. Методика вимірювання акустичного шуму : ДСТУ ІЕС 61400-11:2002. – [Чинний від 2002-07-12]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 29 с.
71. Смит Джон М. Математическое и цифровое моделирование для инженеров и исследователей / Джон Смит М. ; [пер. с англ. Н. Г. Ильиной; Под ред О. А. Чембровского] – М. : Машиностроение, 1980. – 271 с.
72. Сокол Г. И. Анализ шума ветроагрегатов / Г. И. Сокол, Е. В. Стецюк // Людина і космос : матер. V міжнар. молод. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 16 – 18 квітня 2003 р.). – Д. : НЦАОМУ, 2003. – С. 197.
73. Сокол Г. И. Особенности акустических процессов в инфразвуковом диапазоне частот / Г. И. Сокол – Д. : Промінь, 2000. – 136 с.
74. Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х томах./ [Авт. – сост. В. И. Анурьев]. – М. : Машиностроение, 2000. – 910 с.
75. Справочник по технической акустике / Под ред. М. Хекла и Х. А. Мюллера ; [пер. с нем. Б. Д. Виноградова, Н. М. Колоярцева] – Л. : Судостроение, 1980. – 440 с.
76. Серіков Я. О. Основи охорони праці [навч. посіб. для студ. вищих зал. освіти] / Я. О. Серіков. – Х. : ХНАМГ, 2007. – 227 с.
77. Трусов В. С. Теория эксперимента : учеб. пособ. / В. С. Трусов. – Томск : Изд-во Том. ун-та 1983. – 183с.
78. Тупов В. Б. Снижение шумового воздействия от оборудования в энергетике: [учеб. пособ. для вузов] / В. Б. Тупов. – М. : МЭИ, 2005. – 232 с.
79. Тэйлор Р. Шум / Р. Тэйлор ; [пер. с англ. Д. И. Арнольда] ; под ред. М. А. Исааковича. – М. : Мир, 1978. – 308 с.
80. Український гідрометеорологічний центр [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://meteo.com.ua/pas/arch>.
81. Физические величины: справ. / [А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др.] ; под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 135 с.
82. Характеристика местных электротравм [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://bgd.alpud.ru/_private/Travmy/harakt_mest_travm.htm.
83. Хромов С. П. Метеорология и климатология : учеб. / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – [5-е изд., перераб. и доп.]. – М. : МГУ, 2001. – 528 с.

84. Шипулин В. Д. Основные принципы геоинформационных систем : учеб. пособ. / В. Д. Шипулин – Х. : ХНАГХ, 2010. – 313 с.

85. Шипулін В. Д. Планування і управління ГІС-проектами : навч. посіб. / В. Д. Шипулін, Є. І. Кучеренко. – Х. : ХНАМГ ; 2009. – 158 с.

86. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях СТ СЭВ 2934-90, Группа Т58 : ГОСТ 12.1.036-81. – [Действующий от 1982-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 12 с.

87. Шум. Затухание звука при распространении на местности Расчёт поглощения звука атмосферой : в 2 ч. (ИСО 9613-1:1993) : ГОСТ 31295.1-2005. – М. : Стандартиформ, – 2006. – Ч.1. – 55 с.

88. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Общий метод расчёта : в 2 ч. (ИСО 9613-2:1996) : ГОСТ 31295.2-2005. – [Действующий от 2007-01-01]. – М. : Стандартиформ, 2006. – Ч. 2. – 23 с.

89. Шум. Измерение шума строительного оборудования, работающего под открытым небом. Метод установления соответствия нормам шума : (ИСО 4872:1978) ГОСТ 31325-2006 : 2005. – [Действующий от 2007-04-01]. – М. : Стандартиформ – 2007. – 20 с.

90. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий : ГОСТ 23337-78. СТ СЭВ 2600-80. – [Действующий от 1979-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 12с. – (Государственный комитет СССР по делам строительства).

91. Шум. Метод контроля на морских и речных судах (СТ СЭВ 5710-86) : ГОСТ 12.1.020-79 [Действующий от 1980-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 9 с.

92. Шум. Методы установления значений шумовых характеристик стационарных машин : ГОСТ 12.1.023-80. – [действующий от 1981-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 8 с.

93. Шум. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.1.003-83. СТ СЭВ 1930-79 [взамен ГОСТ 12.1.003-76 : Действующий от 1984-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 13 с.

94. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью. Технический метод (СТ СЭВ 1412-78) : ГОСТ 12.1.026-80. – [Действующий от 1981-01-01]. – М. : Госстандарт России, 2003. – 12 с.

95. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики : ГОСТ 20444-85. – [взамен ГОСТ 20444-75 : действующий от 1986-01-01] – М. : Госстандарт России, 1985. – 12 с.
96. Шум и шумовая болезнь / [Е. Ц. Андреева-Галанина, С. В. Алексеев, А. В. Кадышкин, Г. А. Суворов]. – Л. : Медицина, 1972. – 303 с.
97. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки : СН 2.2.4-2.1.8.562-96. – [Действующий от 1996-10-31]. – М. : Госкомсанэпиднадзор, 1996. – 9 с.
98. Энциклопедия по безопасности и гигиене труда : у 4 т. (5 кн) : А – Ж / [ред. кол. : А. П. Бирюкова, А. А. Брежнев, Н. Ф. Измеров, М. М. Кравченко и др.] ; пер. с англ. – М. : Профиздат, 1985. – Т. 1 – 694 с.
99. Юдин Е. Я. Борьба с шумом / Е. Я. Юдин. – М. : Стройиздат, 1964. – 704 с.
100. Охрана труда в машиностроении : учеб. для вузов / [Е. Я. Юдин, С. В. Белов, С. К. Баланцев и др.] ; под ред. Е. Я. Юдина, С. В. Белова. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.
101. Пархоменко О. М. Гігієна праці та безпека життєдіяльності на вітроелектричній станції / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков, Е. М. Будянська // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Х. : Техніка, 2009. – Вып. 90. – С. 482–487.
102. Пархоменко О. М. Дослідження негативних антропогенних факторів на вітроелектричній станції / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков / Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Х. : Техніка, 2009. – Вып. 91. – С. 256–261.
103. Пархоменко О. М. Вітроенергетика. Перспективи та проблеми розвитку / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков // Світлотехніка та електроенергетика. – Х. : ХНАМГ, 2010. – № 1 (21). – С. 66–70.
104. Пархоменко Е. М. Построение интегральной зоны шума ветроэнергетической установки на электронной карте при помощи R-функций / Е. М. Пархоменко, Я. А. Сериков, В. Э. Лисицин // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Х. : УкрДАЗТ, 2010. – № 4/8 (46) – С. 21–24.
105. Пархоменко О. М. Соціотехнічні аспекти безпеки життєдіяльності на вітроелектричній станції / О. М. Пархоменко // Світлотехніка та електроенергетика. – Х. : ХНАМГ, 2010. – № 3-4 (23-24). – С. 83–87.

106. Пархоменко О. М. Порівняння шумових характеристик енергетичного обладнання теплових і вітроенергетичних станцій / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Х. : Техніка, 2011. – Вып. 99. – С. 67–71.

107. Пархоменко О. М. Аналіз стану вітроенергетики в Україні з позиції охорони праці персоналу / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков // Світлотехніка та електроенергетика. – Х. : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2012. – № 4 – С. 85–89.

108. Пархоменко О. М. Застосування геоінформаційних технологій для оцінки ергономічних умов в системі «працівник – вітроенергетична установка – середовище» / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков // Вісник НТУ «ХП» – Серія : Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – № 38 (1011). – С. 130–134.

109. Пархоменко О. М. Математична модель для ергономічної оцінки акустичного середовища вітроенергетичної станції / О. М. Пархоменко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Х. : УкрДАЗТ, 2013. – № 4/4 (64). – С. 11–15.

110. Діденко О. М. Характеристики та фізичні явища звукової хвилі в системі «працівник – вітроенергетична установка – середовище» / О. М. Діденко, Я. О. Серіков // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Х. : Техніка, 2013. – Вып. 110. – С. 208–217.

111. Пархоменко О. М. Перспективи використання вітроенергетики та проблеми охорони праці персоналу і навколишнього середовища / О. М. Пархоменко // Безпека життєдіяльності : матер. VII регіон. наук.-метод. конф. – Х. : НТУ «ХП», 2007. – С. 98–99.

112. Пархоменко О. М. Виробничий травматизм та професійні захворювання на вітроелектричній станції / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков // Охорона праці та соціальний захист працівників : зб. матер. міжнарод. наук. конф. (Київ, 19–21 листопада 2008 р.) – К. : НТУУ «КПІ», 2008. – С. 402–405

113. Пархоменко Е. М. Технико-экологический анализ ветроэнергетики и ветроэнергетических установок, как источников шума / Е. М. Пархоменко, Я. А. Сериков // Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрации. Аэроакустика : сб. науч. тр. XX сессии Рос. акустич. общ-ва. – М. : ГЕОС, 2008. – Т. 3. – С. 298–302.

114. Пархоменко Е. М. Анализ ветроэнергетических установок, как источников шума / Е. М. Пархоменко, Я. А. Сериков // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах : матер. VIII междунар. науч.-практич. конф. – Кемерово : КузГТУ, 2009. – Т. 1. – С. 212 – 215.

115. Пархоменко О. М. Антропогенний вплив вітроенергетики на екологію Землі та безпеку життєдіяльності людини / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков // Проблеми, перспективи та нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві : матер. I-ої міжнар. наук.-практ. конф. – Алушта : ХО НТТ КГ та ПО ; Х. : ХНАМГ, 2009. – С. 274–277.

116. Пархоменко О. М. Шумові ефекти вітроенергетичних установок / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков // Людина і космос : тези доп. XII Міжнар. молодіж. наук.-практ. конф. – Д. : НЦАОМ ім. О. М. Макарова, 2010. – С. 20.

117. Пархоменко Е. М. Анализ и исследование акустического воздействия ветроэлектрических станций на селитебную зону и работающих / Е. М. Пархоменко, Я. А. Сериков // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности : опыт, проблемы, поиск решений: матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Казань : ГУ «Научный центр безопасности жизнедеятельности детей», 2010. – Ч. I – С. 81–87.

118. Пархоменко О. М. Шляхи вирішення проблем нормалізації шумового впливу від вітроенергетичних установках на персонал та селитебну зону / О. М. Пархоменко // Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов : сб. тезисов XXXV науч.-техн. конф. препод., асп. и сотр. Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х. : ХНАМГ, 2010. – Ч. 2. – С. 198–199.

119. Пархоменко Е. М. Проблемы экологии и охраны труда персонала ветроэлектрической станции / Е. М. Пархоменко // Современные проблемы методологии и инновационной деятельности : матер. Всерос. науч.-практ. конф. учёных, асп., спец. и студ. – Новокузнецк : ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, 2010. – С. 99–102.

120. Пархоменко О. М. Застосування R-функцій для моделювання шумового випромінювання вітроенергетичних установок / О. М. Пархоменко // Проблеми, перспектива та нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві : матер. II міжнар. наук.-практ. конф. – Алушта : ХО НТТ КГ та ПО ; Х. : ХНАМГ, 2010. – С. 81–84.

121. Пархоменко О. М. Роль ГІС в моделюванні шумового випромінювання вітроенергетичних установок / О. М. Пархоменко // Людина і космос : тези. доп. XIII Міжнар. молодіж. наук.-практ. конф. – Д. : НЦАОМ ім. О. М. Макарова, 2011. – С. 34.

122. Пархоменко О. М. Застосування ГІС для моделювання шумового забруднення від вітроенергетичних установок / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков, В. Е. Лісичин // Проблеми, перспектива та нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві : матер. III міжнар. наук.-практ. конф. – Алушта : ХО НТТ КГ та ПО ; Х. : ХНАМГ, 2011. – С. 91–94.

123. Пархоменко О. М. Аналіз метода визначення шумоутворення від вітроенергетичних установок / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков // Безпека людини в сучасних умовах : матер. III Міжнар. наук.-метод. конф. (м. Харків, 8–9 грудня 2011 р.). – Х. : Міськдрук, 2011. – С. 56–58.

124. Пархоменко О. М. Причини шумоутворення від вітроенергетичних установок та можливі рішення зменшення цього впливу / О. М. Пархоменко // Людина і космос : тези. доп. XIV Міжнар. молодіж. наук.-практ. конф. – Д. : НЦАОМ ім. О. М. Макарова, 2012. – С. 22.

125. Пархоменко О. М. Застосування математичного моделювання для прогнозування шумоутворення від вітроенергетичних установок / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков // Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов : сб. тезисов XXXVI науч.-техн. конф. препод., асп. и сотр. Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х. : ХНАМГ, 2012. – Ч. 2. – с. 207–208.

126. Пархоменко Е. М. Применение геоинформационных технологий для решения задачи нормализации шумового режима ветроэнергетических станций / Е. М. Пархоменко, Я. А. Сериков // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии (ИТСиТ-2012) : Матер. Всерос. молодёж. конф. (г. Кемерово, 20–22 сентября 2012 г.). – Кемерово : КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева, 2012. – С. 198–199.

127. Пархоменко О. М. Розробка математичної моделі поширення звукових хвиль від вітроенергетичних установок з урахуванням інтерференції / О. М. Пархоменко // Проблеми, перспектива та нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві : матер. VI міжнар. наук.-практ. конф. – Алушта : ХО НТТ КГ та ПО ; Х. : ХНАМГ, 2012. – С. 99–101.

128. Пархоменко О. М. Забезпечення акустичного комфорту на ВЕС / О. М. Пархоменко // Наукові підсумки 2012 р. : матер. наук.-практ. конф. – Х. : ПП «Технологічний центр» , – 2012. – № 6/1 (8). – С. 53–54.

129. Забезпечення ергономічних умов в системі «людина – техніка – середовище» на вітроелектричній станції за фактором шуму / О. М. Пархоменко, Я. О. Серіков, Л. А. Назаренко, С. С. Овчинников // матер. XII міжнар. наук.-метод. конф. Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика, - Одеса : «БМБ», 2013 – С. 211–214.

130. Anthony L. Wind Turbine Acoustic Noise / Anthony L. Rogers, James F. // Sally Wright Renewable energy research laboratory, Department of mechanical and industrial engineering. – Amherst: University of Massachusetts at Amherst, 2002. – 26 p.

131. Delaney M. Acoustical properties of fibrous absorbent materials / M. Delaney, E. Bazley // Applied Acoustics. – Elsevier Science Publishing Company, Inc., 1970. – Vol 3, issue 2. – Pp 105 – 116.

132. Forskning i Aeroelasticitet – EFP-98 Risø-R-1129(DA), August 1999 (In Danish), Edited by Helge Aagard Madsen. – Roskilde : Risø, 2000. – 84 p.

133. Golec M. Noise of wind power turbine V80 in a farm operation / M. Golec, Z. Golec, C.Cempel // proceedings of the first international meeting on wind turbine noise: perspectives for control (Berlin, October 17–18, 2005). – Berlin : Oho, 2005. – 120–128 p.

134. Howe B. Wind turbines and sound: review and best practice guidelines / B. Howe, B. Gastmeier, N. McCabe // HGC engineering, noise, vibration, acoustics. – Canada : Ontario, 2007. – P. 30.

135. Huskey A. Wind turbine generation system acoustic noise Test report for the AOC 15/50 Wind turbine / A. Huskey, H. Link, C. P. Butterfield. – Colorado : Golden, 1999. – P. 87.

136. Impact of wind power generation in Ireland on the operation of conventional plant and the economic implications // Report ESB national grid. – Oval : EirGrid Plc, 2004. – P. 42.

137. Jakobsen J. Infrasound emission from wind turbines / J. Jakobsen // Journal of low frequency noise, vibration and active control. – Essex : Multi-science publishing company ltd, 2005. – № 24 (3). – P. 145–155.

138. Klug H. Noise from wind turbines standards and noise reduction procedures / H. Klug // Paper presented on the Forum Acusticum. – Sevilla, – 2002. – P. 7.

139. Lamancusa J. Ray tracing in a moving medium with two-dimensional sound-speed variation and application to sound propagation over terrain discontinuities / J. Lamancusa, P. Daroux // The Journal of the Acoustical Society of America. – New York : Melville, 1993. – 93(4). – Pp. 1716–1726.

140. Leventhall G. Low frequency noise from wind turbines with special reference to the genesis power ltd proposal, near Waiuku NZ / G. Leventhall. – Esher, Ashted Surrey KT21 1NL UK, 2004. – 20 p.

141. Lovelock J. Gaia : A new look at life on earth / J. Lovelock. – Oxford, University Press, 2000. – Pp. 149.

142. Migliore P. Acoustic tests of small wind turbines / P. Migliore, J. van Dam, A. Huskey. – Golden, Colorado : National renewable energy laboratory, 2003. – Pp. 17.

143. Moorhouse A. Research into aerodynamic modulation of wind turbine noise: final report / A. Moorhouse, M. Hayes, Sabine von Hunerbein and oth. – Manchester : University of Salford? 2000. – Pp. 58.

144. Oerlemans S. Acoustic Array Measurements on a Full Scale Wind Turbine / S. Oerlemans, B. Méndez López // CEAS Aeroacoustics : 11th conference, May 23-25, 2005. – Monterey : CA, 2005 – Pp. 2005–2963

145. Piercy J. E. Review of noise propagation in the Atmosphere / J. E. Piercy, T. Embleton, L. Sutherland // The Journal of the Acoustical Society of America. – New York : Melville, – 61 (6). – 1977. – Pp. 1403–1418.

146. Snow D. J. Low frequency noise and vibrations measurement at a modern wind farm / D. J. Snow – Oxford : Harwell Laboratory Energy technology Support Unit., 1997. – Pp. 15–26.

147. The assessment of the noise level generated by a wind turbine based on the results of the Acoustic pressure measurement / T. Boczar, S. Borucki, A. Cicho, M. Lorenc // Defektoskopie : material 37-th mizinarodni conference Nov. 9, 2007. – Praha : Cndt 2007. – Pp. 25 – 30.

148. van den Berg G.P. Effects of the wind profile at night on wind turbine sound / G.P. van den Berg // Journal of sound and vibration. – Elsevier, 2004. – Vol. 277, Issues 4–5, – Pp. 955–970.

149. Wagner S. Wind Turbine Noise / S. Wagner, R. Barei, G. Guidati. – Berlin, New York : Springer, 1996. – Pp. 204.
150. World wind energy // Report 2010 : World wind energy association. – Bonn, WWEA, 2011. – Pp. 23.
151. Yang G. A conceptual study of negative impact of wind farms to the environment [Electronic resource] / G. Yang // Technology Interface Journal. – Mode of access: <http://technologyinterface.nmsu.edu/Fall09/index.php?fdf=018>. – Vol.10., № 1. – 2009. – Pp. 25–29.
152. Yoshinori N. Effects of splitting a ground board on wind turbine noise measurements / Nii Yoshinori // Acoustic Sci. & Tech. – 2003. – 24/2. – Pp. 90–92.

Додаток А

Класифікація вітроенергетичних установок

Таблиця А.1 – Класифікація механічних ВЕУ за сферою застосування

Назва підгрупи	Характеристика	Сфера застосування	Система, що застосовується				
			Регулювання ВК		Передавання потужності	Навантаження	Автоматичне керування
			Параметр	Тип			
Вітронасосні	Робота ВЕУ з насосами	Водопостачання, зрошення, осушення земель, підймання води	Частота обертання ВК	пряме відцентробіжне – поворотом лопатей; пряме аеродинамічне – виводом ВК з-під вітру	Пневматичне	Насоси: відцентробіжні, струмні	Затока відцентробіжних насосів. Контролювання рівня заповнення водою резервних ємностей
					Електричне	Насоси: відцентробіжні, вібраційні, водострумні, заглиблені та плаваючі на понтоні	
					Механічне	Насоси: поршневі, штангові, водопідйомні	
Вітросилові	Робота ВЕУ з промисловими та побутовими механізмами	Механізація трудомістких процесів сільського господарських та інших робіт	Частота обертання ВК	пряме відцентробіжне – поворотом лопатей; пряме аеродинамічне – виведенням ВК з-під вітру; непряме відцентробіжне аеродинамічне - поворотом лопатей стабілізаторами	Механічне з відбиранням потужності з нижнього редуктора	Робочі машини	—

Таблиця А.2 – Класифікація електричних ВЕУ постійного струму за сферами застосування

Назва підгрупи	Характеристика	Сфера застосування	Система, що застосовується				
			Регулювання ВК		Передавання потужності	Навантаження	Автоматичне керування
			Параметр	Тип			
Вітрозарядні	Робота ВЕУ із заряджання акумуляторних батарей (АБ)	Заряджання АБ	Частота обертання ВК	пряме відцентробіжне – поворотом лопатей; пряме аеродинамічне – виведення ВК з-під вітру	ВК установлюють безпосередньо на вал генератора, застосування мультиплікатора	Живиться від АБ	Захист АБ від перезаряду та глибокого заряду
Гарантованого живлення	Робота ВЕУ одночасно з АБ	Гарантоване постачання електроенергією споживачів	Частота обертання ВК	пряме відцентробіжне – поворотом лопатей; пряме аеродинамічне – виведення ВК з-під вітру	ВК установлюють безпосередньо на вал генератора	Живлення одночасно або нарізно від двох джерел енергії: ВК і АБ	Паралельна робота ВЕУ й АБ від перезаряду та глибокого заряду
Негарантованого живлення	Робота ВЕУ без АБ	Електроживлення малопотужних споживачів у місцях із постійними вітрами й експериментальних установках	Частота обертання ВК	пряме відцентробіжне – поворотом лопатей; пряме аеродинамічне – виведенням ВК з-під вітру	ВК установлюють безпосередньо на вал генератора	Навантаження живлення через блок керування, що має регулятор напруги	Регулятор напруги, захист від струмів короткого замикання

Таблиця А.3 – Класифікація електричних ВЕУ змінного струму за призначенням, керуванням і структурою системи генерування енергії

Назва підгрупи	Класифікація за призначенням		Класифікація за способом керування		Класифікація за структурою системи генерування енергії	
	Характеристика	Призначення	Режим роботи ВЕУ (частота обертання ВК)	Керування	Режим роботи ВЕУ (частота обертання ВК)	Склад систем генерування енергії
1	2	3	4	5	6	7
Автономні	Робота ВЕУ індивідуально (автономно)	Джерела електроживлення споживачів, непов'язаних з електричною мережею, що різняться порівняно низькими показниками коефіцієнта використання встановленої потужності	Постійна	Регулювання ВК і баластним опором (окремо або разом)	Постійна	Синхронні або асинхронні, регульовані або нерегульовані генератори, баластний опір
			Змінна	Регулювання ВК і перетворювачем частоти (окремо або разом)	Змінна	Синхронні чи асинхронні регульовані чи нерегульовані генератори, перетворювач частот
Гібридні	Робота ВЕУ одночасно з незалежними електростанціям и сумірної потужності (дизель-генератори, малі ГЕС тощо.)	Джерела електроживлення для безперервного постачання споживачів електроенергією номінальної потужності	Постійна	Спільним і окремим регулюванням паралельно працюючих електростанцій	Постійна	Синхронний генератор
			Змінна	Спільне регулювання паралельно працюючих електростанцій і перетворювачів частот	Змінна	Синхронний генератор і перетворювач частоти або машина подвійного живлення

Продовження таблиці А.3

1	2	3	4	5	6	7
Мережеві	Робота ВЕУ одночасно з потужною електричною мережею	Джерела отримання та подавання в електричну мережу максимально можливої виробленої електроенергії	Постійна	Регулювання ВК	Постійна	Синхронний чи асинхронний генератор
			Змінна	Регулювання ВК і перетворювачем частоти (окремо або разом)	Змінна	Асинхронний генератор і перетворювач частоти, або синхронний генератор і перетворювач частоти, або машина подвійного живлення

Додаток Б

Дані для побудови рози вітрів

Таблиця Б.1 – Кількість повторів та швидкість вітру за період із 1 червня до 31 грудня 2009 р.
та з 1 січня до 31 травня 2010 р.

Червень 2009 р.			Липень 2009 р.			Серпень 2009 р.		
Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с
Північний	4	8	Північний	13	50	Північний	8	26
Північно-східний	9	26	Північно-східний	3	10	Північно-східний	12	34
Східний	2	6	Східний	1	1	Східний	2	3
Південно-східний	0	0	Південно-східний	1	2	Південно-східний	0	0
Південний	2	6	Південний	2	4	Південний	0	0
Південно-західний	6	10	Південно-західний	5	9	Південно-західний	1	1
Західний	2	6	Західний	3	3	Західний	2	3
Північно-західний	4	8	Північно-західний	3	3	Північно-західний	3	4
Штиль	1	0	Штиль	0	0	Штиль	3	0
Кількість днів у місяці	30		Кількість днів у місяці	31		Кількість днів у місяці	31	
Вересень 2009 р.			Жовтень 2009 р.			Листопад 2009 р.		
Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с
Північний	10	30	Північний	6	14	Північний	7	23
Північно-східний	11	43	Північно-східний	7	17	Північно-східний	7	21
Східний	3	17	Східний	9	48	Східний	5	29
Південно-східний	0	0	Південно-східний	0	0	Південно-східний	0	0
Південний	1	2	Південний	3	18	Південний	1	7
Південно-західний	1	4	Південно-західний	3	13	Південно-західний	5	25
Західний	2	6	Західний	1	7	Західний	1	2
Північно-західний	0	0	Північно-західний	2	4	Північно-західний	3	7
Штиль	2	0	Штиль	0	0	Штиль	1	0
Кількість днів у місяці	30		Кількість днів у місяці	31		Кількість днів у місяці	30	

Продовження таблиці Б.1

Грудень 2009 р.			Січень 2010 р.			Лютий 2010 р.		
Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с
Північний	5	17	Північний	9	47	Північний	1	3
Північно-східний	8	45	Північно-східний	5	14	Північно-східний	7	43
Східний	10	55	Східний	9	101	Східний	11	58
Південно-східний	1	6	Південно-східний	0	0	Південно-східний	1	5
Південний	2	17	Південний	1	6	Південний	1	7
Південно-західний	3	16	Південно-західний	1	2	Південно-західний	3	22
Західний	1	9	Західний	4	15	Західний	0	0
Північно-західний	1	7	Північно-західний	1	2	Північно-західний	4	18
Штиль	0	0	Штиль	1	0	Штиль	0	0
Кількість днів у місяці	31		Кількість днів у місяці	31		Кількість днів у місяці	28	
Березень 2010 р.			Квітень 2010 р.			Травень 2010 р.		
Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Кількість повторів	Швидкість вітру, м/с
Північний	4	21	Північний	8	17	Північний	3	5
Північно-східний	5	18	Північно-східний	10	39	Північно-східний	3	6
Східний	8	41	Східний	4	22	Східний	1	2
Південно-східний	1	3	Південно-східний	1	5	Південно-східний	1	3
Південний	0	0	Південний	1	1	Південний	4	21
Південно-західний	5	20	Південно-західний	3	8	Південно-західний	10	25
Західний	3	14	Західний	3	5	Західний	5	9
Північно-західний	5	11	Північно-західний	0	0	Північно-західний	3	6
Штиль	0	0	Штиль	0	0	Штиль	1	0
Кількість днів у місяці	31		Кількість днів у місяці	30		Кількість днів у місяці	31	

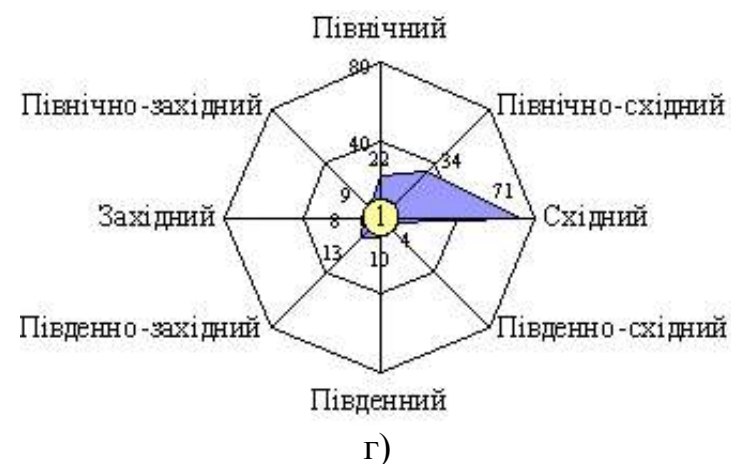
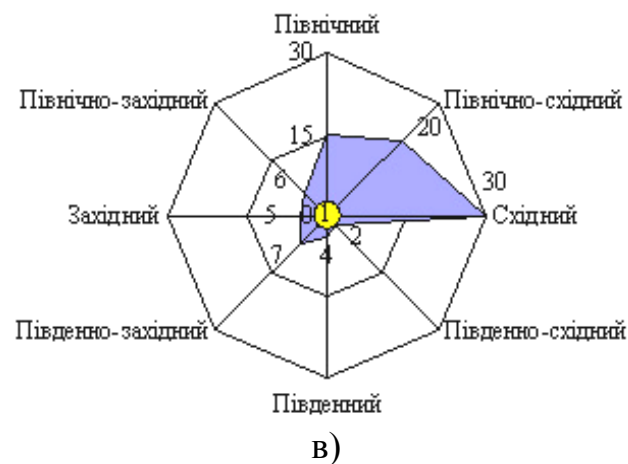
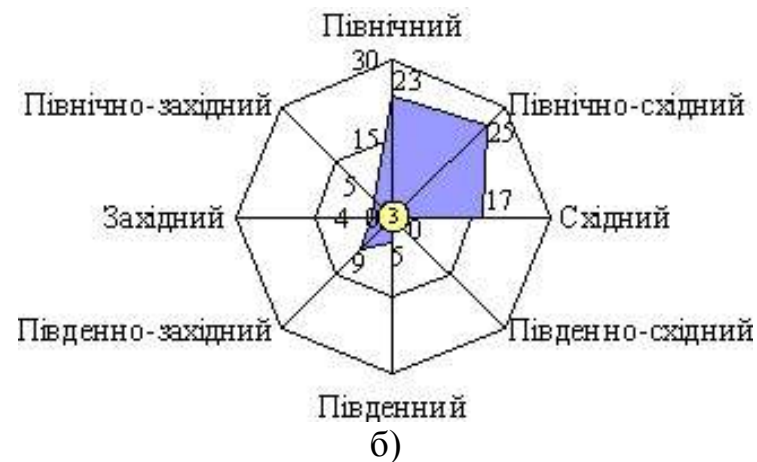
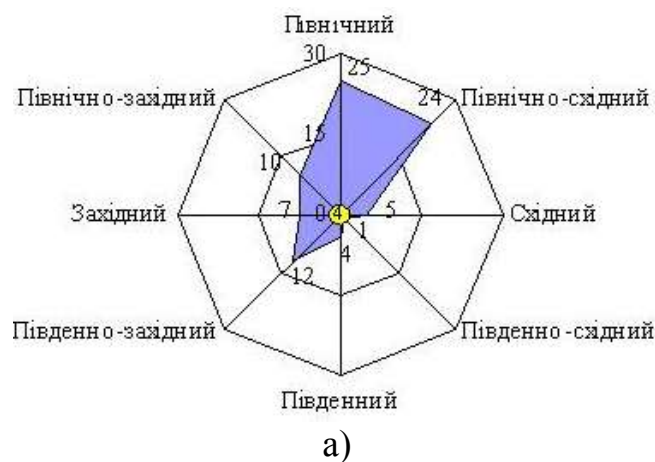


Рисунок В.1 – Роза вітрів за кількістю повторів напрямку вітру за квартал у м. Євпаторія:

а) червень – серпень 2009 р.; б) вересень – листопад 2009 р.;
в) грудень 2009 р. – лютий 2010 р.; г) березень – травень 2010 р.

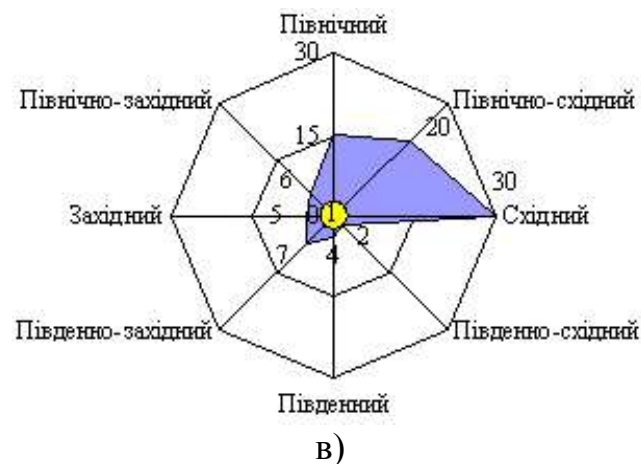
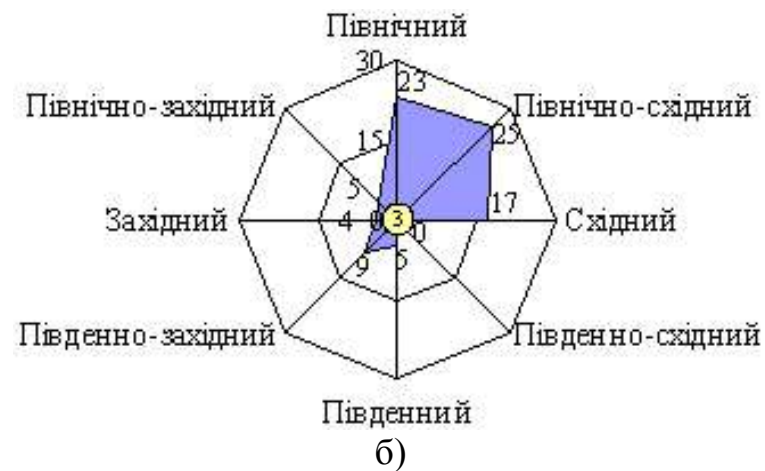
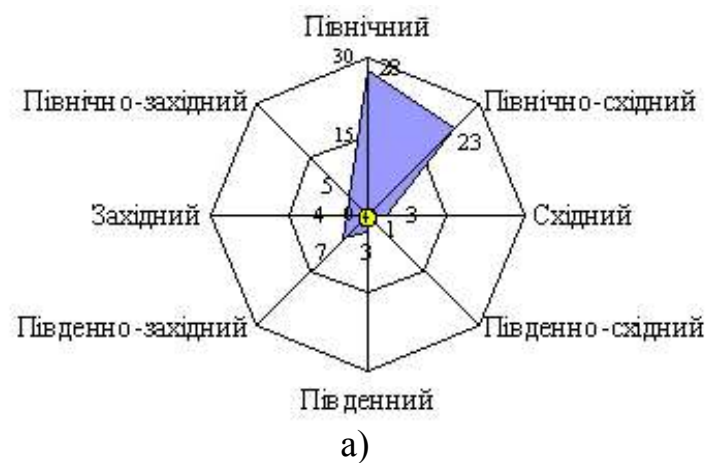


Рисунок В.2 – Роза вітрів за середнім значенням швидкості вітру за квартал у м. Євпаторія:

а) червень – серпень 2009 р.; б) вересень – листопад 2009 р.;
в) грудень 2009 р. – лютий 2010 р.; г) березень – травень 2010 р.

Наукове видання

СЕРІКОВ Яків Олександрович
ДІДЕНКО Олена Михайлівна
ЛІСЦІН Володимир Едуардович

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
ЛЮДИНИ, ЕРГОНОМІКИ, ОХОРОНИ ПРАЦІ
І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

МОНОГРАФІЯ

**ЧАСТИНА 2
ВІТРОЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ**

За редакцією Я. О. Серікова

Відповідальний за випуск М. В. Хворост

Комп'ютерне верстання І. В. Волосожарова

Дизайн обкладинки Т. Є. Ключко

Підп. до друку 26.11.2013
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 10,8
Тираж 300 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.